



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES
CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

**EFECTO DE LOS PARÁMETROS DE EXTRUSIÓN SOBRE
LA CALIDAD NUTRICIONAL Y DE TEXTURA EN LA
MEZCLA DE MAÍZ *Zea mays*, CHOCHO *Lupinus mutabilis* Y
ZANAHORIA BLANCA *Arracacia xanthorrhiza* EN EL SNACK**

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
AGROINDUSTRIAL

Autor: Jorge Daniel Flores Nogales

Director: Ing. Luis Armando Manosalvas Quiróz, MSc.

Ibarra-Ecuador

2019



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:	100352381-6
APELLIDOS Y NOMBRES:	FLORES NOGALES JORGE DANIEL
DIRECCIÓN:	IMBABURA-COTACACHI QUIROGA-BARRIO LA VICTORIA
E-MAIL:	dann0805@gmail.com
TELÉFONO MÓVIL:	0994144397
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“EFECTO DE LOS PARÁMETROS DE EXTRUSIÓN SOBRE LA CALIDAD NUTRICIONAL Y DE TEXTURA EN LA MEZCLA DE MAÍZ <i>Zea mays</i> , CHOCHO <i>Lupinus mutabilis</i> Y ZANAHORIA BLANCA <i>Arracacia xanthorrhiza</i> EN EL SNACK”
AUTOR:	FLORES NOGALES JORGE DANIEL
FECHA:	25 DE OCTUBRE DE 2019
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO AGROINDUSTRIAL
ASESOR/DIRECTOR:	ING. LUIS ARMANDO MANOSALVAS, MSc

2.- CONSTANCIAS

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

Ibarra, a los 25 días del mes de Octubre del 2019

EL AUTOR:

(Firma). 

Nombre: Jorge Daniel Flores Nogales

C.C: 100352381-6



CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Jorge Daniel Flores Nogales, con cédula de ciudadanía 100352381-6 bajo mi supervisión.

A handwritten signature in blue ink, which appears to read "Luis Armando Manosalvas", is written over a horizontal dotted line.

Ing. Luis Armando Manosalvas, MSc
DIRECTOR DE TESIS



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

Yo, **Jorge Daniel Flores Nogales** con cédula de identidad Nro. **100352381-6**; 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 **"EFECTO DE LOS PARÁMETROS DE EXTRUSIÓN SOBRE LA CALIDAD NUTRICIONAL Y DE TEXTURA EN LA MEZCLA DE MAÍZ *Zea mays*, CHOCHO *Lupinus mutabilis* Y ZANAHORIA BLANCA *Arracacia xanthorrhiza* EN EL SNACK"** que ha sido desarrollado 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 25 días del mes de Octubre del 2019

Jorge Daniel Flores Nogales
C.C: 100352381-6

DECLARACIÓN

Manifiesto que la siguiente obra es original y se la desarrollo, sin violar derechos de autor de terceros, por 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 25 días del mes de Octubre del 2019



.....

Jorge Daniel Flores Nogales

C.C: 100352381-6

RESUMEN

Las leguminosas y tubérculos son fuentes ricas en proteínas y almidones, estos han sido utilizados para la elaboración de snacks extruidos con mayor calidad nutricional y funcional. El objetivo de la investigación fue evaluar los efectos de la formulación: Maíz (*Zea mays*), zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*) y chocho (*Lupinus mutabilis*) en la relación (p/p): 80/10/10 y 70/15/15), humedad de la mezcla (15% - 20%) y temperatura de extrusión (110°C – 140°C)), sobre los parámetros de calidad medidos principalmente por sus propiedades nutricionales, funcionales y de textura.

Los resultados obtenidos en las variables fisicoquímicas presentan que los tratamientos con temperatura de extrusión de 110°C, porcentaje de sustitución de la mezcla (70% maíz- 10% zanahoria blanca -10% chocho) y humedad de mezcla de 15%, durante el proceso de extrusión tuvieron mayor efecto sobre las propiedades nutricionales del producto dando mejores características biodisponibilidad de nutrientes.

Los factores utilizados para el proceso de extrusión tuvieron un efecto significativo sobre las propiedades funcionales (Índice de Expansión IE, Densidad Aparente DA, Índice de Absorción de Agua IAA, Índice de Solubilidad en Agua ISA del snack. Al sustituir del contenido de maíz con chocho y zanahoria blanca en la mezcla, se produjo extruidos con bajos IE, por lo tanto, aumentando su DA. Por otro lado, al aumentar el contenido de humedad en la mezcla se produjo extruidos con bajos IE, un alta DA, Así también los ISA fueron bajos y los IAA tuvieron un incremento. La temperatura también tuvo un efecto sobre las propiedades funcionales, incrementando el IE, pero disminuyendo la DA, así también incrementando los IAA e ISA en el snack extruido. Al comprobar los cambios que se produjeron en las características funcionales en los snacks extruidos a base de maíz, chocho y zanahoria blanca se concluyó así que la adición de chocho y zanahoria blanca mejoro las estructuras y funcionalidad de los snacks extruidos.

Mientras, las variables cualitativas organolépticas evaluadas fueron: color, olor, sabor y textura. También se evaluó la textura instrumental y descriptiva realizándose y así una correlación para ver que sonda puede ser usada para para cada atributo de textura. Los tratamientos con temperatura de extrusión de 140°C, porcentaje de sustitución de la mezcla (80% maíz- 10% zanahoria blanca -10% chocho) y humedad de mezcla de 15%, durante el proceso de extrusión tuvieron mayor efecto sobre las propiedades funcionales dando mejores características de aceptabilidad aumento del contenido de proteína y textura. El tratamiento T5 con sustitución de la mezcla (80% maíz- 10% zanahoria blanca-10 % chocho), humedad de mezcla 15% y perfil de temperatura de 110°C, fue mejor por su mayor relevancia en la parte funcional y una mayor textura aceptable.

SUMMARY

Legumes and tubers are rich sources of protein and starches, these have been used to make extruded snacks with higher nutritional and functional quality. The objective of the research was to evaluate the effects of the formulation: Corn (*Zea mayz*), white carrot (*Arracacia xanthorrhiza*) and chocho (*Lupinus mutabilis*) in the ratio (p / p): 80/10/10 and 70/15 / 15), humidity of the mixture (15% - 20%) and extrusion temperature (110°C - 140°C)), on the quality parameters measured mainly by their nutritional, functional and texture properties.

The results obtained in the physicochemical variables present that the treatments with extrusion temperature of 110oC, percentage of substitution of the mixture (70% maize- 10% white carrot -10% chocho) and mixing humidity of 15%, during the extrusion process had a greater effect on the nutritional properties of the product giving better bioavailability characteristics of nutrients.

The factors used for the extrusion process had a significant effect on the functional properties (IE Expansion Index, DA Appearance Density, WAI Water Absorption Index, WSI Water Solubility Index) of the snack. By replacing the corn content with chocho and white carrot in the mixture, extruded with IE basses was produced, thus increasing their DA. On the other hand, by increasing the moisture content in the mixture was extruded with low IE, a high DA, so also the ISAs were low and the AIAs had an increase. The temperature also influenced the functional properties, increasing the IE, but decreasing the DA, as well as increasing the AI and WSI in the extruded snack. By checking the changes that occurred in the functional characteristics in the extruded snacks based on corn, pussy and white carrot was concluded so the addition of chocho and white carrot improved the structures and functionality of the extruded snacks.

Meanwhile, the organoleptic qualitative variables evaluated were color, smell, taste and texture. The instrumental and descriptive texture was also evaluated, making a correlation to see what probe can be used for each texture attribute. Treatments with extrusion temperature of 140oC, percentage of substitution of the mixture (80% corn- 10% white carrot -10% chocho) and mixing humidity of 15%, during the extrusion process had greater effect on the functional properties giving better acceptability characteristics increased protein and texture content. The T5 treatment with substitution of the mixture (80% corn - 10% white carrot-10 % chocho), mixing moisture 15% and temperature profile of 110oC, was better for its greater relevance in the functional part and a greater acceptable texture.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1	CAPITULO I	1
	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Problema	1
1.2	Antecedentes	1
1.3	Justificación	2
1.4	Objetivo general y específicos	3
1.4.1	Objetivo general	3
1.4.2	Objetivos específicos.....	3
1.5	Hipótesis	3
1.5.1	Hipótesis alternativa.....	3
1.5.2	Hipótesis nula.....	3
2	CAPÍTULO II	4
	MARCO TEÓRICO	4
2.1	Materias primas destinadas al proceso de extrusión	4
2.1.1	Maíz.....	4
2.1.2	Producción nacional e importancia económica del maíz	5
2.1.3	Composición nutricional del maíz.....	6
2.1.4	Chocho	7
2.1.5	Producción nacional e importancia económica del chocho.....	8
2.1.6	Composición nutricional del chocho.....	9
2.1.7	Zanahoria blanca	10
2.1.8	Produccion nacional e importancia económica de la zanahoria blanca.....	11
2.1.9	Composición nutricional de la zanahoria blanca.....	12
2.2	El snack	13

2.2.1	Importancia comercial y nutricional de los snacks.....	14
2.3	Principios de la extrusión y funcionamiento de extrusores	14
2.3.1	Extrusión	14
2.3.2	Materias primas utilizadas para el proceso de extrusion.	15
2.3.3	Tipos de extrusores.....	20
2.3.4	Fundamento de la aplicación de la extrusion en caliente	21
2.3.5	Desarrollo de productos extruidos en la industria alimentaria	23
2.4	Influencia del diseño, formulación en el proceso de extrusion.....	25
2.4.1	Componentes del extrusor de tornillo simple.	25
2.4.2	Nomenclatura de las partes del extrusor.....	29
2.4.3	Condiciones de operación del proceso de extrusion.....	33
2.4.4	Formulacion del material (Materias primas)	37
2.5	Cambios nutricionales durante la de extrusion	41
2.6	Parámetros de calidad durante el proceso de extrusion.	45
2.6.1	Propiedades funcionales de los extruidos.....	45
2.6.2	Parámetros de calidad subjetivos en el proceso de extrusion.....	49
2.6.3	Parámetros de calidad objetivos en el proceso de extrusion	50
3	CAPÍTULO III	57
	MATERIALES Y METODOS	57
3.1	Caracterización del área de estudio.....	57
3.2	Ubicación del experimento	57
3.3	Materiales y equipos	58
3.3.1	Metodología	59
3.3.2	Factores en estudio	60
3.3.3	Diseño Experimental	61
3.3.4	Variables evaluadas.....	62

3.3.5	Análisis Específico del Experimento	74
4	CAPÍTULO IV	77
	RESULTADOS Y DISCUSIONES	77
4.1	Caracterización del extrusor	77
4.1.1	Caracterización del barril	78
4.1.2	Caracterización del tornillo	79
4.2	Caracterizaciones fisicoquímicas de las materias primas	80
4.3	Determinación de las características fisicoquímicas de las mezclas.	82
4.4	Variables Físico Químicas Evaluadas en el Producto Extruido	83
4.4.1	Contenido de Humedad	85
4.4.2	Contenido de lípidos.....	89
4.4.3	Contenido de Proteína	91
4.4.4	Contenido de cenizas.....	94
4.4.5	Contenido de fibra.....	97
4.4.6	Contenido de Carbohidratos.....	100
4.5	Variables Funcionales Evaluadas en el Producto Extruido	102
4.5.1	Índice de solubilidad de agua	104
4.5.2	Índice de absorción de agua	106
4.5.3	Índice de expansión.....	109
4.5.4	Densidad Aparente	111
4.6	Parámetros de calidad del producto extruido.....	113
4.6.1	Análisis instrumental de textura sensorial en el snack	113
4.6.2	Correlación radial de textura instrumental	115
4.6.3	Análisis sensorial de la textura en el snack	116
4.6.4	Correlación radial de textura sensorial.....	117
4.6.5	Correlación entre textura instrumental y descriptiva.....	117
4.6.6	Correlación de Pearson.....	118

4.6.7	Análisis de Componentes Principales	119
4.6.8	Aceptabilidad sensorial	121
4.6.9	Análisis complementarios	124
5	CAPÍTULO 5	126
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	126
5.1	Conclusiones	126
5.2	Recomendaciones	127
	ANEXOS	134

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Identificación taxonómica de maíz.....	4
Tabla 2 Producción nacional de maíz.....	5
Tabla 3 Composición nutricional del maíz en base seca.....	6
Tabla 4 Composición de aminoácidos esenciales en el maíz.....	6
Tabla 5 Características del almidón de maíz.....	7
Tabla 6 Identificación taxonómica del chocho.....	8
Tabla 7 Producción Nacional de chocho.....	8
Tabla 8 Composición nutricional del chocho en base seca.....	9
Tabla 9 Composición de aminoácidos esenciales en el chocho.....	10
Tabla 10 Identificación taxonómica de la zanahoria blanca.....	11
Tabla 11 Producción nacional de zanahoria blanca.....	11
Tabla 12 Composición nutricional de la zanahoria blanca en base seca.....	12
Tabla 13 Composición de aminoácidos esenciales en la zanahoria blanca.....	12
Tabla 14 Características del almidón nativo de la zanahoria blanca.....	13
Tabla 15 materias primas comúnmente utilizadas en el proceso de extrusion.....	15
Tabla 16 Composición de RTAs del Ecuador.....	17
Tabla 17 Algunos nutrientes contenidos en 100 g de cereales seleccionado.....	18
Tabla 18 Composición de leguminosas secas.....	19
Tabla 19 Parámetros de Análisis de Textura.....	55
Tabla 20 Ubicación del experimento.....	57
Tabla 21 Parámetros del extrusor de tornillo simple.....	59
Tabla 22 Tratamientos.....	60
Tabla 23 DCA Ax ₁ BxC+1.....	61
Tabla 24 Métodos analizados en los gritz de maíz, chocho y zanahoria blanca.....	62
Tabla 25 Métodos analizados al producto extruido.....	68
Tabla 26. Propiedades funcionales del producto extruido.....	68
Tabla 27. Análisis de Textura Instrumental realizado al producto extruido.....	71
Tabla 28 condiciones del proceso de extrusion.....	77
Tabla 29. Tabla composición nutricional de (maíz, zanahoria blanca y chocho).....	80
Tabla 30 Composición nutricional de las mezclas (maíz, zanahoria blanca y chocho). .	82

Tabla 31 Valores de las variables Físico Químicas estudiadas	84
Tabla 32 Análisis de tukey de las Variables Físico Químicas Evaluadas en el Producto.	85
Tabla 33 Análisis de varianza de las propiedades funcionales.....	103
Tabla 34. Análisis de varianza de textura instrumental.....	114
Tabla 35 Tukey ($p \leq 0.05$) de los atributos de textura instrumental del producto extruídos .	114
Tabla 36. Análisis de varianza de textura descriptiva	116
Tabla 37 Rangos Tukey ($p \leq 0.05$) de los atributos de textura sensorial del producto extruido ..	116
Tabla 38. Coeficientes de correlación entre textura sensorial e instrumental.	118
Tabla 39. Matriz de componentes rotados.....	120
Tabla 40 Resultados de la Evaluación sensorial.....	121
Tabla 41. Análisis de la digestibilidad de la proteína de los productos extruidos.....	124
Tabla 42. Contenido de aminoácidos del mejor tratamiento	125

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Ejemplos de snacks y galletas.....	14
Figura 2 Extrusor de tornillo único	20
Figura 3 Extrusora moderna de doble tornillo tipo BCTA.....	21
Figura 4 Cereales extruidos	23
Figura 5 Productos alimenticios extruidos.	24
Figura 6 Vista esquemática de cilindro de tornillo monobloque.....	28
Figura 7 Diagrama del extrusor y la geometría del tornillo de una sola pieza.....	29
Figura 9 Curva típica del análisis de textura	54
Figura 10 Curvas de fuerza-distancia para pruebas de penetración	54
Figura 11 Efecto del peso de la muestra en las lecturas de fuerza máxima	55
Figura 12 Caracterización del barril (INIAP, 2019).....	78
Figura 13 Caracterización del tornillo (INIAP, 2019).....	79
Figura 14 Humedad del Producto Extruido (%).....	86
Figura 15 Diagrama de Pareto para Humedad	87
Figura 16 Interacciones de Factores AB, BC y AC en la variable Cenizas.	88
Figura 17 Lípidos del Producto Extruido (%).....	89
Figura 18 Diagrama de Pareto para el lípido.....	90
Figura 19 Interacciones de Factores AB, BC en la variable Lipidos.	91
Figura 20 Proteína del Producto Extruido (%).....	92
Figura 21 Diagrama de Pareto para Proteína.....	93
Figura 22 Interacciones de Factores AB, BC y AC en la variable Proteína.....	94
Figura 23 Cenizas del Producto Extruido (%).....	95
Figura 24 Diagrama de Pareto para Cenizas	96
Figura 25 Interacciones de Factores AB, BC y AC en la variable Cenizas.	96
Figura 26 Fibra del Producto Extruido (%).....	98

Figura 27 Diagrama de Pareto para Fibra	98
Figura 28 Interacciones de Factores AB, BC y AC en la variable Fibra.....	99
Figura 29 Carbohidratos del Producto Extruido (%).....	100
Figura 30 Diagrama de Pareto para Carbohidratos	101
Figura 31 Interacciones de Factores BC y AC en la variable Carbohidratos	102
Figura 32 Índice de solubilidad de Agua en el producto extruido	104
Figura 33 Diagrama de Pareto Índice de solubilidad de agua	105
Figura 34 Interacciones de Factores AB y AC en la variable solubilidad en agua.....	106
Figura 35 Índice de absorción de Agua en el producto extruido.....	107
Figura 36 Diagrama de Pareto Índice de absorción de agua	108
Figura 37 Interacciones de Factores AB, BC y AC en la variable absorcion de agua.....	108
Figura 38 Índice de expansión en el producto extruido	109
Figura 39 Diagrama de Pareto Índice de expansión.....	110
Figura 40 Interacciones de Factores AB, BC y AC en el Índice de expansión.....	110
Figura 41 Densidad Aparente en el producto extruido.....	111
Figura 42 Diagrama de Pareto densidad aparente	112
Figura 43 Interacciones de Factores AB, BC y AC en la densidad aparente	113
Figura 44 Grafico radial de textura instrumental	115
Figura 45 Textura sensorial	117
Figura 46 Diagrama de dispersión tridimensional en componentes principales	120
Figura 47 Puntuaciones de color en snacks extruidos	122
Figura 48 Puntuaciones de Olor en snacks extruidos	122
Figura 49 Puntuaciones de Textura en snacks extruidos.....	123
Figura 50 Puntuaciones de Sabor en snacks extruidos.....	123

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Problema

El mercado mundial de los snacks elabora una diversidad de productos; ya que con un ritmo de vida acelerado la mayor parte de consumidores se inclinan al consumo de alimentos más rápidos y accesibles muchas veces siendo estos con un bajo aporte nutricional, causando gran parte de los problemas de salud de la población actual atribuidos al frecuente consumo de alimentos chatarra.

La composición básica de los snacks extruidos de maíz (panchitos) según (Carli Snack, 2015) cuenta 50 calorías por porción de 10 gramos y si bien predominan los hidratos en este snack, también contienen alta cantidad de grasas (20%). Son muy concentrados en sodio, llegando a superar los 35 mg por cada porción de 10 gramos de alimento. En la región existe gran variedad de materias primas que contienen diversas bondades nutricionales pero la falta de su estudio dificulta el aprovechamiento de dichas materias primas.

Por este motivo es imprescindible la investigación y desarrollo tecnológico en la industria de extruidos, con la utilización materias primas que se produzca en el sector, y que estas contengan características nutricionales y sensoriales diferentes al snack producido para el mercado actual (Castell, 2016).

1.2 Antecedentes

La investigación realizada por Remache (2016), tuvo como finalidad la obtención de un snack saborizado con un alto porcentaje de proteína, realizado con una mezcla de maíz, chocho y quinua, donde se analizó la influencia de las leguminosas en el proceso de extrusión.

Los factores de estudio fueron; sustitución de la mezcla maíz por quinua y chocho, porcentaje de la mezcla y perfil de temperatura de extrusión. determinando así los tratamientos con temperaturas de extrusión de 105°C con una mezcla de :70% maíz, 25% quinua y 5% chocho y humedad de la mezcla de 15% tuvieron un mayor efecto sobre los factores de estudio.

Zelada, (2011), tuvo como objetivo desarrollar un snack nutritivo utilizando la quinua y el maíz, donde se tomó como factores de estudio la sustitución de la mezcla de maíz por quinua y la humedad de alimentación. Se determinó que la mezcla optima fue: 70% quinua y 30% de maíz con una humedad del 14% en las que se encontró mejores características funcionales como un mayor índice de expansión (2,87) y un mayor grado de gelatinización (81,24%). Esta investigación demuestra que la quinua es una excelente opción como materia prima para ser utilizada en productos extruidos con un alto valor nutricional.

El estudio realizado por Medina, Ancco, Huamán y Apaza, (2011), tuvo como objetivo elaborar bocaditos de tunta (*S. curtilobum*), maíz (*Zea mays*) y zanahoria (*Daucus carota*) para evaluar la calidad de la fibra y la textura del snack, el experimento se llevó a cabo con una temperatura de 120°C, logrando mejor aceptación sensorial de sabor y de textura con un 50% de tunta, 50% maíz, y 6% zanahoria. Cabe mencionar que la zanahoria aporta en la cantidad de fibra fruta y la textura del snack.

1.3 Justificación

La importancia de la presente propuesta radica en la innovación en cuanto al uso de materias primas producidas en el sector con un alto valor nutricional, y el estudio de parámetros adecuados el proceso de extrusión de estas materias primas. Se utilizó leguminosas y tubérculos como la zanahoria blanca y el chocho, aprovechando sus bondades nutricionales como el almidón de tamaño granular pequeño causando una alta digestibilidad de la zanahoria blanca y el alto contenido proteico del chocho los componentes antes mencionados de la materia prima, se pretende mejorar el extruido especialmente en el aspecto nutricional.

La intención de este proyecto es el estudio de los parámetros de proceso para la elaboración de un snack aprovechando las materias primas de nuestra zona andina y poco utilizadas en la industria.

1.4 Objetivo general y específicos

1.4.1 Objetivo general

Evaluar los efectos de los parámetros de extrusión de la mezcla de maíz, chocho y zanahoria blanca sobre las características fisicoquímicas y de textura del producto terminado.

1.4.2 Objetivos específicos

- Determinar el contenido nutricional de las materias primas (gritz).
- Evaluar los efectos de la temperatura de extrusion, tipo de mezcla y contenido de humedad sobre los atributos de textura y aceptabilidad sensorial.
- Evaluar las características fisicoquímicas y calidad nutricional del producto terminado.

1.5 Hipótesis

1.5.1 Hipótesis alternativa

Ha: La mezcla de gritz (maíz, chocho, zanahoria blanca), y los parámetros del proceso de extrusión influyen sobre el contenido de nutrientes, calidad sensorial y propiedades físicas del producto extruido expandido.

1.5.2 Hipótesis nula

Ho: La mezcla de gritz (maíz, chocho, zanahoria blanca), y los parámetros del proceso de extrusión influyen sobre el contenido de nutrientes, calidad sensorial y propiedades físicas del producto extruido expandido.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Materias primas destinadas al proceso de extrusión

2.1.1 Maíz

El maíz (*Zea maíz*) es uno de los cereales más importantes del mundo, suministra elementos nutritivos a los seres humanos y a los animales. Es una materia prima básica en la industria de transformación, convirtiéndose en: almidón, aceite, proteínas, bebidas alcohólicas y desde hace poco en combustible Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, 2006). Entre las variedades cultivadas fundamentalmente para la alimentación están el maíz dulce, reventador, dentado, amiláceo o harinoso y el cristalino. (FAO Alimentación, 2006).

Tabla 1 Identificación taxonómica de maíz

MAÍZ	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida
Familia	Poaceae
Género	Zea
Especie	Mays
Nombre científico	Zea maíz
Nombre común	Maíz Duro

(Baca, 2016)

2.1.2 Producción nacional e importancia económica del maíz

El rendimiento nacional del cultivo de maíz duro seco (13% de humedad y 1% de impureza) para el ciclo de invierno 2018 fue de 5.81 (t/ha); rendimiento promedio superior en 5% con respecto al mismo ciclo del año 2017. La provincia con un mejor rendimiento fue Loja con 7.10 t/ha y la de menor productividad Guayas con 4.37 t/ha MAG, (2018).

El MAG informa que, para el ente mes, el precio de comercialización de maíz amarillo duro al productor es de 16,89 dólares por quintal, de 45,36 Kg, con 13% de humedad y 1% de impurezas, a pagar en condiciones de bodega/vendedor (MAG, 2018)

El maíz amarillo participa entre el 60 a 75% en las dietas manejadas en la crianza de animales y contribuye con un importante aporte de energía y un moderado aporte de proteína, el 30% de la proteína total está aportada por esta materia prima, sobre el aporte energético en dietas de aves se considera que el maíz aporta entre el 65 a 70% de la energía contenida en la dieta, al igual que en dietas de cerdos, aunque en este caso con un aporte menor en proteínas, cerca del 8%. El maíz marca su importancia dentro de la elaboración de otros productos pecuarios como: la carne de pollo, cerdo, huevos. Por lo cual se justifica la necesidad de su producción con el fin de cubrir la demanda local (Baca, 2016).

En la siguiente tabla se describe la producción nacional de los principales tipos de maíz.

Tabla 2 Producción nacional de maíz

Regiones	Maíz Duro	Maíz Duro	Maíz Suave	Maíz Suave
	Choclo(ha)	Seco(ha)	Choclo(ha)	Seco(ha)
Total Nacional	18397	237170	40910	146948
Región Sierra	1093	43853	40825	145925
Región Costa	17176	184359	60	920
Resto del País	128	8958	25	13

(Sinagap 2016)

2.1.3 Composición nutricional del maíz

En la siguiente Tabla 3 se nos muestra la composición nutricional del maíz donde se da a conocer los componentes que tiene esta materia prima que se utiliza muy frecuentemente en la elaboración de snacks extruidos.

Tabla 3 Composición nutricional del maíz en base seca

Composición	100g Maíz
Valor energético(Cal)	104,00
Humedad(%)	12,8
Proteína(g)	8,20
Grasa(g)	3,90
Carbohidratos(g)	75,10
Fibra(g)	2,70
Cenizas(g)	1,65

(Cardona et al., 2002) (Sánchez, 2014)

En la **Tabla 4** se detalla el perfil de aminoácidos del maíz utilizado en los productos extruidos, siendo de gran aporte en la nutrición humana.

Tabla 4 Composición de aminoácidos esenciales en el maíz

Aminoácidos Esenciales	Proteína(mg /g de nitrógeno)
Isoleucina	230
Leucina	783
Lisina	167
Metionina+Cistina	217
Fenilalanina	305
Tirosina	239
Treonina	225
Triptófano	44
Valina	303
Histidina	170

(Mancero, 2018)

En la tabla 5 se da a conocer las características del almidón de maíz sabiendo así los parámetros a los que se puede someter y constatar que son los óptimos para el proceso de extrusion.

Tabla 5 Características del almidón de maíz

Características	MAIZ	
Contenido almidón	de	72-73%
Contenido amilosa amilopectina forma	de y	amilosa 25% amilopectina 75%
Tamaño		Irregular poligonal En el plano Irregular poliédrica en el espacio
Temperatura gelatinización	de	12,7um 88-90 °C

(Medina & Salas, (2008)

2.1.4 Chocho

El chocho (*lupino mutabilis sweet*), es una leguminosa originaria de los Andes de Bolivia, Ecuador y Perú; siendo de gran importancia en la alimentación de esos países desde la época prehistórica. Es una leguminosa con un alto contenido de proteínas y de un alto interés industrial debido a su composición química. Lamentablemente existen muy pocos estudios realizados por laboratorios sobre este producto, por lo cual muchas de sus atributos nutricionales no han sido aprovechados. En Ecuador la mayor parte de conocimiento sobre dicho producto provienen de poblaciones indígenas ancestrales que lo cultivaban con el objetivo de dar a conocer sus propiedades (Chirinos-Arias,2015). En Ecuador, el chocho desamargado fresco es consumido por el 71% de familias de la Sierra, 19% en la Costa y 87% en el Oriente. El consumo per-cápita mensual es de 0,4 kg. en la sierra y Oriente y de 0,2kg. en la Costa. En el estudio de mercado nacional hecho en 2001 se determina que la demanda potencial en el período del estudio fue de 10.597t, la misma que según los autores seguirá creciendo en los próximos años Lizano, (2014).

Tabla 6 Identificación taxonómica del chocho

CHOCHO	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Fabales
Familia	Fabaceae
Género	Lupinus
Especie	L. mutabilis
Nombre científico	Lupinus Mutabilis
Nombre común	Chocho

(Rojas, 2016)

2.1.5 Producción nacional e importancia económica del chocho

Según el cálculo de los técnicos del Ministerio de Agricultura (Magap) el consumo per cápita de chochos en Ecuador es de ocho kilos por persona al año. La alta demanda e importancia económica se debe a la versatilidad gastronómica y cualidades nutricionales de la leguminosa. Los cantones con mayor producción son: Alausí, Colta, Guano, Riobamba, Penipe y Guamote. (Marquez, 2016).

En la siguiente tabla se describe la producción nacional del chocho en algunas zonas del país.

Tabla 7 Producción Nacional de chocho

PROVINCIA	(Hectáreas) CHOCHO	Kg (Aproximadamente)
Carchi	45	180000
Imbabura	192	768000
Pichincha	425	1700000
Cotopaxi	2281	9124000
Tungurahua	284	1136000
Chimborazo	975	3900000
Bolívar	330	1320000
Total	4532	18128000

(INEC, 2010)

2.1.6 Composición nutricional del chocho

El Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias destaca que el chocho es una leguminosa de alto valor nutritivo, que se distingue por su alto contenido de proteína (Mazón, Peralta, Villacrés, & Subia, 2009).

Entre los productos nutricionales que se han realizado utilizando chocho como ingrediente principal son: Fideo de pasta corta (sustitución 25% chocho) con un incremento nutricional de: proteína en 5,6%, 1,6% de fibra y 1, 1% de grasa (Mazón, Peralta, Villacrés, & Subia, 2009).

También podemos destacar la investigación de (Godoy, 2013) donde finalidad de elaborar una mezcla alimenticia a base de chocho y maíz, la misma que ayude a mejorar el estado nutricional de los menores, y a su vez despierte el interés por el consumo de estos granos.

Tabla 8 Composición nutricional del chocho en base seca

Composición nutricional	unidad	100g de chocho
Valor energético	Kcal	84,00
Proteínas	g	51,07
Grasas	g	20,44
Agua	g	9,00
Fibra	g	7,35
Cenizas	g	2,54

(Godoy, 2013)

En la **Tabla 9** se detalla el perfil de aminoácidos que contiene el chocho siendo este un producto con un alto contenido de proteína y un completo perfil de aminoácidos siendo así una materia prima óptima para el enriquecimiento nutricional de los snacks extruidos.

Tabla 9 Composición de aminoácidos esenciales en el chocho

Aminoácidos Esenciales	Proteína (mg /g de nitrógeno)
Isoleucina	274
Leucina	449
Lisina	331
Metionina+Cistina	134
Fenilalanina	231
Tirosina	221
Treonina	228
Triptófano	63
Valina	252
Histidina	163

(Mancero, 2018)

2.1.7 Zanahoria blanca

La zanahoria blanca (*Arracacia xanthorrhiza*) es una raíz poco reconocida científicamente, pero consumida en la mayoría de los países latinoamericanos y las regiones andinas, por ser un alimento nutritivo. Desde el punto de vista nutricional aporta caloría fibra y minerales; principalmente calcio, fosforo, magnesio, hierro (Huamán, Edquén, & Vásquez, 2013). También es importante su utilización por sus características agronómicas como: rusticidad, capacidad de fijar nitrógeno atmosférico al suelo y adaptabilidad a zonas agroecológicas secas Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, (2011).

Tabla 10 Identificación taxonómica de la zanahoria blanca

ZANAHORIA BLANCA	
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Orden	Apiales
Familia	Apiaceae
Género	Arracacia
Especie	A. xanthorrhiza

(Valdivieso, 2011)

2.1.8 Producción nacional e importancia económica de la zanahoria blanca

La región andina es la zona en la que se han identificado la mayoría de las especies del género *Arracacia*, quizá la única umbelífera domesticada en esta región, con una gran variabilidad genética en todo el Ecuador, la principal zona de producción es San José de Minas en la provincia del Pichincha. Los datos estadísticos de producción y rendimiento muestran que en los últimos años se ha incrementado el rendimiento de esta raíz de 3,86 t/ha, lo cual podría hacer factible su industrialización (Cabrera, 2016).

Tabla 11 Producción nacional de zanahoria blanca

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

(Magap, 2011)

2.1.9 Composición nutricional de la zanahoria blanca

Este producto destaca por su elevado contenido de almidón digerible (Tapia, Fries, Mazar, & Rosell, 2007). También destaca por su fácil digestión, producen gránulos finos de almidón y de alta calidad para el consumo en la dieta diaria, representa una alta fuente de carbohidratos, calorías, fibra, y minerales como: calcio, fósforo y hierro, beta caroteno, vitaminas como la niacina, vitaminas hidrosolubles, además de las vitaminas A, E, D y K (Ponce, 2015).

Tabla 12 Composición nutricional de la zanahoria blanca en base seca

Composición	100g Zanahoria Blanca
Valor energético(Cal)	104,00
Humedad(%)	73,00
Proteína(g)	0,80
Grasa(g)	0,20
Carbohidratos(g)	24,90
Fibra(g)	0,60
*Cenizas(g)	5,18

(Valdivieso, 2011) (*Sanchez, 2015)

En la tabla 13 se puede observar perfil de aminoácidos de la zanahoria blanca siendo que esta es un tubérculo tiene algunos aminoácidos esenciales aportando así una calidad nutricional a la mezcla para la elaboración de extruidos.

Tabla 13 Composición de aminoácidos esenciales en la zanahoria blanca.

Aminoácidos Esenciales	g /100g proteína
Isoleucina	83
Leucina	237
Lisina	203
Metionina+Cistina	179
Fenilalanina	386
Tirosina	186
Treonina	144
Triptófano	191
Valina	33,2
Histidina	---

(Correa León, Leon Campozano, & Pionce Camba, 2008)

En la tabla 14 se da a conocer las características del almidón de zanahoria blanca , La zanahoria blanca al ser un tubérculo especial ya que cuenta con características optimas en las propiedades de almidón como son una baja temperatura de gelatinización y un alto contenido de amilopectina haciéndola así una materia prima ideal para el proceso de extrusion.

Tabla 14 Características del almidón nativo de la zanahoria blanca

CARACTERISTICAS	Z. BLANCA	
contenido de almidón	72%	
contenido de amilosa y amilopectina	amilosa 10,33%	amilopectina 89,67%
forma	Forma poliédrica irregular	
tamaño	7-25um	
temperatura de gelatinización	50,8°C,	

(FAO, 2000),(Cuestas, 2018)

2.2 El snack

“Snack” es una palabra inglesa traducida al español como bocadito o comida rápida. Son alimentos en porciones pequeñas, individuales de fácil consumo y manipulación. Su creación se basa en la satisfacción de la demanda de una sociedad en movimiento y con nuevos hábitos de vida, por lo cual estos productos no requieren preparación previa al consumo (COSTELL, 1988) (Estévez, 2001).

La comunidad científica ha descubierto recientemente que muchos de estos cambios en el patrón alimentario, como es el caso del consumo de snacks ha generado un impacto negativo sobre la salud de la población; pues los mismos son consumidos durante y entre las comidas, y su composición nutricional no siempre es la adecuada para una dieta balanceada (Salinas, 2011).

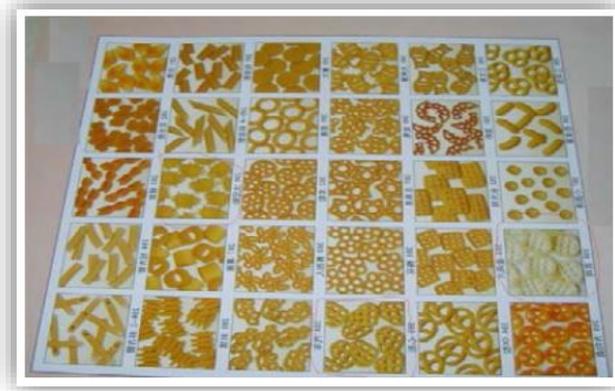


Figura 1 Ejemplos de snacks y galletas producidos por cocción por extrusión de tornillo único (Arêas, Rocha-Olivieri, & Marques, 2016).

2.2.1 Importancia comercial y nutricional de los snacks.

“La industria de alimentos y snacks según las últimas estadísticas del año 2012 indica que el país experimenta un crecimiento de 10% en su demanda en snacks extruidos. El Ecuador debería implementar nuevas innovaciones en el área de snacks extruidos, tomando en cuenta que en el país existen cultivos como el maíz que es la fuente más importante para la extracción de materia prima para la elaboración de los snacks extruidos (ROMO, 2012).

El valor nutritivo principalmente se encuentra basado en la adición de materias primas como pueden ser leguminosas y tubérculos con alto contenido nutricional así transformando los snacks comunes realizados solamente con maíz en productos que pueden ser beneficiosos gracias a sus bondades nutricionales (Romo, 2012).

2.3 Principios de la extrusión y funcionamiento de extrusores

2.3.1 Extrusión

La extrusión es un proceso cuya finalidad es la cocción de materias primas ricas en almidones, haciendo que estas sean cocidas y forzadas por un dado. Los factores involucrados en este proceso son: velocidad, presión, temperatura, tiempo específicos y la formulación (Hernandez-Alarcon, 2005).

Los cuales causan transformaciones estructurales, químicas y nutricionales; convirtiendo la mezcla en un producto con la textura y forma deseada (R. P. Singh & Heldman, 2014). Esta tecnología se ha convertido en la más importantes para el tratamiento térmico de los alimentos. Su popularidad aumento debido a su control automatizado, alta capacidad de operación continua, alta productividad, versatilidad, adaptabilidad, eficiencia energética y bajo costo de procesamiento (Arêas, Rocha-Olivieri, & Marques, 2016).

2.3.2 Materias primas utilizadas para el proceso de extrusión.

Los materiales de almidón más populares utilizados en los procesos de extrusión son productos de cereales derivados del trigo, el maíz, el arroz, el almidón de patata y las hojuelas de patata secas. También se han utilizado otros productos de cereales y leguminosas obtenidos a partir de centeno cebada, avena son granos, harina de soja desgrasada, harina de girasol, guisante y trigo sarraceno utilizándose en menor cantidad principalmente para proporcionar un enriquecimiento nutricional, para mejorar el sabor o mejorar las características funcionales de los productos extruidos(M. Moscicki, 2011).

Las materias primas utilizadas para el proceso de extrusion deberían tener las siguientes características.

- Ayudan a la conformación de estructuras.
- Facilitan la transformación física durante la extrusión-cocción.
- Afectan la viscosidad del material y su plastificación.
- Facilitan la homogeneidad de los ingredientes de la masa.
- aceleran de la fusión y gelatinización del almidón.
- Mejoran el sabor y el color de los productos.

En la **Tabla 15** muestra un conjunto de materias primas típicas utilizadas en formulaciones en productos extruidos cada uno de los cuales ofrece una amplia variedad de funciones.

Tabla 15 materias primas comúnmente utilizadas en el proceso de extrusion

Ingredientes	Tipos
Gritz de maiz Harina de trigo Papas deshidratadas Almidon de papa Harina de soya	Ingredientes formadores
Salvado de trigo Gluten de trigo	Forman una fase dispersa en la transformación estructural al desempeñar el papel de rellenos plastificantes cuya

	función es reducir las fuerzas de cizallamiento y facilitar el flujo de masa en el cilindro del extrusor
Agua Aceite vegetal Emulsificantes	Materias primas menores añadidas a ciertos productos para dar mejores características organolépticas
Azucar Maltodextrina Sal Saborizantes Polvo de hornear Fosfato de calcio Harina de Leche	

(Moscicki, 2011)

Estas materias primas se las puede dividir en 3 grandes grupos como son los cereales, las leguminosas y los tubérculos.

2.3.2.1 Raíces y tubérculos andinos (RTAs)

El fomento del uso y consumo de las RTAs va a depender en gran medida del conocimiento que se disponga sobre sus principales componentes químicos y de las características físicas, nutricionales y funcionales que se atribuyen para orientar sus posibles usos y aplicaciones. En este párrafo se muestra información sobre la composición química y valor nutricional de las RTAs en términos de cantidad y calidad tanto en raíces y tubérculos enteros como de la parte comestible. Se incluye el efecto de los procesos caseros de preparación de alimentos como es la cocción y el pelado sobre la composición química de la RTAs (Espín, Villacrés, & Brito, 2004).

Los almidones de raíces y tubérculos juegan un papel fundamental en la dieta humana Ofreciéndonos numerosos beneficios nutricionales y para la salud, como las actividades antioxidantes, hipoglucemiantes, hipocolesterolemias, antimicrobianas e inmunomoduladores. Un número de constituyentes bioactivos con los que cuentan estos son compuestos fenólicos, saponinas, proteínas bioactivas, glicoalcaloides y ácidos fíticos siendo algunos de estos beneficiosos para la salud humana. Aunque en algunos casos el procesamiento puede afectar las bioactividades de los compuestos beneficiosos. Los

tubérculos tienen un inmenso potencial como alimentos funcionales e ingredientes nutracéuticos para explorar en la reducción del riesgo de enfermedades (Chandrasekara & Josheph Kumar, 2016)

La caracterización fitoquímica de las RTAs identifica los principales metabolitos secundarios, presentes en estas especies, útiles en términos de sus propiedades medicinales, alimenticias y estructurales; y como potenciales fuentes de principios activos con aplicación en diferentes áreas de la industria. (Espín et al., 2004).

Tabla 16 Composición química de cinco especies de RTAs del Ecuador, pertenecientes al Banco de Germoplasma del INIAP

Alimento	Humedad (%)	Cenizas (%)	Proteína (%)	Fibra (%)	Lípidos (%)	Carbohidratos totales (%)
Mashua	88,70	4,81	9,17	5,86	4,61	75,40
Miso	68,17	5,65	7,16	5,80	1,84	79,54
Jícama	89,21	3,73	3,73	5,52	0,62	85,55
Z.blanca	81,19	5,18	5,18	3,91	1,11	84,33

(Barrera, 2004)

Almidones de cultivos de raíces y tubérculos encuentran en productos extruidos sus aplicaciones se realizan especialmente en snacks, se utiliza las raíces y tubérculos debido a su característico sabor y buena energía en presencia de agua(Altan & Maskan, 2012)

El almidón de tipo B generalmente se obtiene a partir del almidón de tubérculo siendo este un almidón rico en amilosa siendo más abierto con moléculas de agua ubicadas en una cavidad central rodeada por seis hélices dobles(Jin, 2018).

2.3.2.2 Cereales

Los granos de cereales son importantes principalmente como fuente de nutrientes para ambos los humanos y el ganado. Su principal contribución a las dietas es el almidón una fuente de energía que está presente como un producto de almacenamiento en el endospermo, pero también hay otros nutrientes importantes y menores como proteínas aceites y vitaminas que también son importantes. El almidón se puede convertir en otros compuestos orgánicos como el alcohol para el consumo en bebidas a base de cereales o para su uso como biocombustible(Kurt A, rosentrater A.D, 2018).

El maíz o cera de maíz y el almidón de trigo o cebada se investigaron con mayor frecuencia como materias primas termoplásticas básicas(L. Moscicki, Mitrus, Wojtowicz, Oniszcuk, & Rejak, 2013).Los cereales son los más apropiados para la extrusión ya que debido a su elevado contenido de almidón, tienen excelentes propiedades de expansión, característica que es indispensable en este tipo de productos. La proteína de los cereales tiene alto contenido de aminoácidos azufrados, pero bajo en lisina (Lis), respecto de los requerimientos establecidos por la FAO(C. Pérez-Navarrete, R. H. Cruz, Estrada, L. Chel-Guerrero, 2006). Para la cocción por extrusion se utiliza harina de arroz, harina de trigo blando y / o sémola de maíz, junto con otros almidones, agua, gluten y aceite Wrigley, Batey, & Miskelly, (2017)

Tabla 17 Algunos nutrientes contenidos en 100 g de cereales seleccionado

Alimento	Energía (kcal)	Proteína (g)	Grasa (g)	Carbohidratos (g)
Mijo	1510	10,5	3,9	71,0
Maíz	1498	9,0	3,8	71,0
Arroz	1492	7,5	2,2	75,5
Trigo	1342	11,5	2,0	70,0

(Latham, 2002)

Las materias primas más utilizadas para la elaboración de extruidos son maíz y el trigo, aunque también existen alimentos extruidos basado otros granos tales como arroz, avena, sorgo, o una combinación de granos como cereales multigrano. Las ventajas específicas de tales combinaciones incluyen la posibilidad de diferentes texturas, el contenido de micronutrientes y reducir el costo de alimento extruido. Copos de maíz, dulces en sabor o con sabor a chocolate, son el artículo más popular entre los consumidores. Cereales de grano entero que contienen una cantidad razonable de fibra están ganando popularidad entre los consumidores(Altan & Maskan, 2012).

El almidón de tipo A se asocia principalmente con almidones de cereales gracias a que existe una disposición cerrada con moléculas de agua entre las estructuras(Jin, 2018).

2.3.2.3 Leguminosas

Las semillas de leguminosas forman parte de los hábitos alimentarios tradicionales de los países mediterráneos y han sido la base de numerosas recetas de nuestra cocina, de gran valor cultural, pero también nutricional. En este grupo se incluyen alimentos como garbanzos, judías, lentejas, soja, habas, guisantes, etc(Perales et al., 2017).

Las legumbres son una fuente potencial barata y 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(Obradović, Babić, Šubarić, Ačkar, & Jozinović, 2014).

Entre las principales proteínas vegetales utilizadas para producir análogos de carne mediante el proceso de extrusión son proteínas de leguminosas como la soja, las habas y los guisantes comunes(Joy de acero, Vernaza, Schmiele, Ferreira, & Chang, 2002). Se ha informado que las leguminosas, causan una buena expansión y son consideradas como altamente factibles para el desarrollo de bocadillos con alto contenido de calorías y alta nutrición(Alam, Kaur, Khaira, & Gupta, 2015).

Tomando en cuenta también que las leguminosas tienen altos contenidos de proteínas con altos contenidos de lisina. Sin embargo los niveles de almidón son menores en comparación con los cereales. Es por esto, que por sí solas, las leguminosas no resultan ser los materiales adecuados para la extrusión(C. Pérez-Navarrete, R. H. Cruz, Estrada, L. Chel-Guerrero, 2006).

Tabla 18 Composición de leguminosas secas

Alimento	Energía (kcal)	Humedad (%)	Proteína (%)	Carbohidratos (%)	Fibra (%)	Lípidos (%)
Judías	285-330	8-12	19-24	52-58	5-25	1,5-1,8
Lentejas	306-341	8-11	23-30	54-57	4-12	0,9-1,5
Garbanzos	329-360	2-9	20-28	55-60	5-15	5-5,5
Guisantes	317-330	1-11	22	56-60	5-17	1,4-2,6
Habas	320-343	9-11	23-26	52-60	4-27	1,7-2,1
Soja	370-380	8-11	36-39	15,8	5-15	18-20
Cacahuete	581	5-7	27	8,5	8,1	49
Altramuz	384	12	36-41	40,38	14	4-10

(Aguado & Gil, 2006)

Las harinas de leguminosas individuales se extruyen aunque las mezclas de leguminosas y cereales son más comunes. Las ventajas adicionales de usar leguminosas con cereales son un mayor contenido de proteínas y a menudo un sabor y sabor atractivos. Estos estudios indican una materia prima alternativa como las leguminosas para centrarse en los beneficios

para la salud desde el punto de alto contenido de proteínas y contenidos equilibrados de aminoácidos esenciales(Altan & Maskan, 2012).

2.3.3 Tipos de extrusores

Los extrusores existen en varios diseños, dependiendo de su aplicación no todos los extrusores son de cocción - texturizante. Existen diferentes tipos de extrusoras disponible en el mercado. Algunos ejemplos incluyen extrusoras para procesar materiales secos, extrusoras en frio, extrusoras de tornillo simple y tornillo doble (Riaz, 2000).

Las extrusoras de un solo tornillo están disponibles en varios tamaños, formas y configuraciones de tornillo barra y matriz de boquillas, donde se pueden adaptar a las especificaciones de un producto en particular (Riaz, 2000).

2.3.3.1 Extrusores de un tornillo

El diseño de extrusores de un solo tornillo es relativamente simple. La función del tornillo es transmitir, comprimir, fundir y plastificar el material para que a través de la fuerza se ejerza una presión por medio de los orificios pequeños de la boquilla en el extremo del barril. Las extrusoras de alimentos de un solo tornillo procesan materiales relativamente fáciles para la extrusion caracterizados por alto coeficiente de fricción, tales como sémola de maíz o de arroz que se pueden extruir incluso bajo presiones de alrededor de 15-20 Mpa, también siendo materiales básicos para la producción de aperitivos de extrusion directa o cereales para el desayuno (bolas, anillos, etc.) (M. Moscicki, 2011).

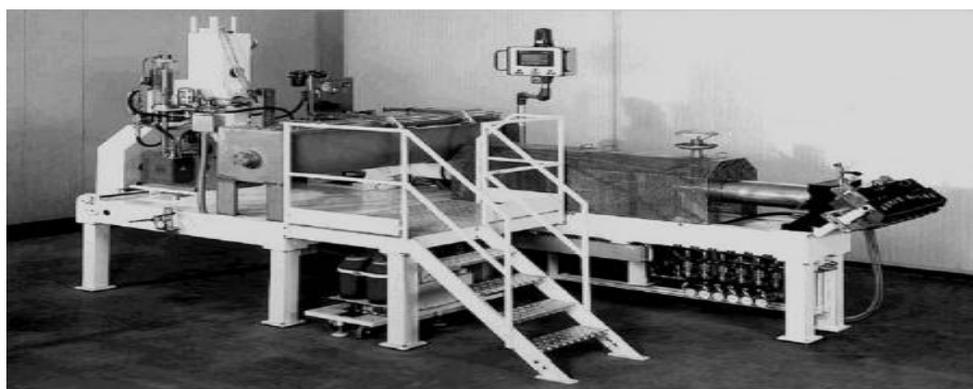


Figura 2 Extrusor de tornillo único tipo G equipada con dispositivos operativos adicionales

(Moscicki, 2011)

2.3.3.2 Extrusores de dos tornillos

Los Extrusores de doble tornillo son mucho más complejos en términos de diseño, Se componen de dos ejes que giran dentro de un solo cilindro. Se clasifican de acuerdo con su sentido de rotación y por la forma que los tornillos giran entre sí. Los extrusores comúnmente utilizados en la industria alimentaria son los de tornillo cortante debido a que el movimiento de rotación impulse el material a través del extrusor (R. Guy, 2001).

Estos han Ganado una amplia popularidad entre los productores de alimentos y piensos debido a su gran versatilidad (capacidad de procesar una amplia gama de materiales, incluyendo materiales viscosos y materiales difíciles de romper) también contando con un menor consumo de energía y capacidad de ampliar la producción de manera significativa. Su única desventaja es el diseño más complicado y tiene un alto coste de adquisición de adquisición (M. Moscicki, 2011).



Figura 3 Extrusora moderna de doble tornillo tipo BCTA

(Moscicki, 2011).

2.3.4 Fundamento de la aplicación de la extrusión en caliente

La extrusión en caliente es una de las técnicas de procesamiento comúnmente adoptadas por las industrias alimentarias que emplean la mezcla, la formación la textura y la cocción para desarrollar un nuevo producto alimenticio (Pathak & Kochhar, 2018).

La extrusión en caliente es un proceso moderno establecido a altas temperatura y cortos periodos de tiempo (HTST). También utilizando otras operaciones unitarias. tales como el transporte, el amasado el mezclando y la cocción propiamente dicha así formando los snacks extruidos. El procesamiento de extrusión de alimentos es ampliamente utilizado para

reestructurar el almidón nativo de las materias primas, en ciertos casos también utilizando base de proteínas para fabricar una variedad de cereales para el desayuno listos para comer (RTE) pasta sustitutos del pan y alimentos para mascotas (Adekola, 2016).

La coccion por extrusion es una forma especializada y unica en el procesado de materiales amiláceos y proteicos debido a que se trata de una coccion a bajos niveles de humedad, comparado con el horneado convencional para la coccion de masas y pastas (Justo & Pérez, 2006).

La industria de procesamiento de alimentos donde se conoce como coccion por extrusión. El material alimenticio alcanza su punto de fusión o de plastificación cuando la energía de corte ejercida por el tornillo giratorio calienta el barril. Es una de las tecnologías de procesamiento de alimentos contemporáneas aplicadas para el desarrollo de variedades de aperitivos especialidades y alimentos suplementarios.

La extrusion en caliente es un proceso termodinamico(inducido de energia térmica y mecánica) que aplica al alimento: Alta presion(hasta 25MPa) y alta temperatura (en un intervalo desde 100-180 °C) durante un breve espacio de tiempo lo que se denomina un proceso HTST. El cual reduce la contaminacion microbiana e inactiva las enzimas. La extrusion en caliente sirve ademas como metodo de coccion y origina una serie de cambios en la forma, estructura y composicion del producto(Justo & Pérez, 2006).

Cuando la energía térmica se convierte en una parte del proceso de extrusion el proceso se conoce como cocción por extrusion. La energía térmica se puede agregar al producto extruido durante el proceso desde una fuente externa o se puede generar por fricción en las superficies internas del extrusor en contacto con el producto extruido. La adición de energía térmica ocurre en la superficie del cañón del sistema de extrusion. La energía térmica puede transferirse a través de las paredes y superficies del barril a los ingredientes utilizados para crear el producto extruido. Además la energía mecánica creada por la fricción entre las superficies y los ingredientes dentro del barril se discipa como energía térmica en el producto extruido (Singh & Heldman, 2014).



Figura 4 Cereales extruidos

(Moscicki, 2011)

2.3.5 Desarrollo de productos extruidos en la industria alimentaria

La cocción por extrusión se utiliza ahora para la fabricación de una amplia gama de productos alimenticios incluyendo los siguientes:

- ❖ Aperitivos extruidos listos para comer (RTE) cereales para el desayuno, que difieren en forma, color, sabor y textura.
- ❖ Bocadillos pellets con la finalidad de convertirse en alimentos fritos.
- ❖ Aperitivos ampliados con aire, pastas precocidas, concentrados instantáneos, componentes funcionales.
- ❖ Alimentos para mascotas, alimentos para la agricultura, alimentos concentrados y sustitutos de leche.
- ❖ Proteína vegetal texturizada o carne texturizada (principalmente elaborada de soya)
- ❖ Confitería: diferentes tipos de dulces, gomas y gelatinas.

(Moscicki, 2016).



Figura 5 Productos alimenticios extruidos. Fuente Reproducido con permiso de Clextal Francia

(Bouvier & Campanella, 2014).

2.3.5.1 Cereales (RTE) listos para comer

El cereal como fuente rica de almidón y proteína proporciona una cantidad significativa de energía al cuerpo humano y casi el 50% de la producción mundial de cereales se utiliza para el consumo humano (Brennan 2012). La mayoría de los alimentos extruidos están compuestos de cereales, almidones y / o proteína vegetal. Los atributos más importantes para bocadillos extruidos desde el punto de vista del consumidor son el crujido y la crujencia (Pathak & Kochhar, 2018).

2.3.5.2 Pellets

Los productos de cereales expandidos también se pueden producir mediante un proceso de dos pasos. El primer paso es la cocción por extrusión y la formación de partículas sin soplos. Estas partículas son conocidas como pellets. En una etapa posterior y con frecuencia en un lugar diferente los gránulos se inflan calentando o friendo. Los pellets son esencialmente partículas no porosas de materiales almidonados pregelatinizados (cocidos) que tienen una forma particular hechos por cocción por extrusión de mezclas húmedas de almidón. La función principal de la extrusión de cocción en este caso es gelatinizar el almidón y particularmente la fracción de amilosa. El soplo se evita liberando la presión y enfriando antes de salir de la matriz. La forma y el tamaño de los pellets están definidos por la matriz y la operación de corte. Después de la extrusión los gránulos se estabilizan secándolos hasta obtener un contenido de agua que garantiza su conservación a largo plazo, pero deja suficiente humedad para plastificar e inflar el gránulo cuando se expone a una temperatura

muy alta. El mecanismo de hinchamiento de los pellets es bastante similar al de hacer estallar el maíz (Berk, 2018).

2.3.5.3 Otros productos extruidos

Las estructuras similares a pan se pueden producir mediante cocción por extrusión de masas de cereal. Aunque las formas de pan rebanado pueden obtenerse utilizando troqueles grandes las características organolépticas del producto son demasiado diferentes de las del pan con levadura convencional al horno para ser comercialmente aceptables. Por otro lado, el pan plano (un producto que se parece al pan crujiente o conocido como acebrot) palitos de pan y crotones se producen comercialmente por extrusión. Mientras que la extrusión proporciona la cocción y la expansión aún se necesita hornear o tostar en el horno para la producción de una corteza crujiente. En este caso se da una descripción detallada de un proceso industrial para la producción de pan plano por extrusión. La cocción por extrusión proporciona una alternativa simplificada y de otro alimento tradicional el "tarhana" turco básico que contiene harina de trigo y yogur. La cocción por extrusión de la harina de maíz produce una materia prima que se puede utilizar directamente en la panadería (Berk, 2018).

2.3.5.4 Elaboración de snacks nutritivos

En el medio de las investigaciones se han venido realizando algunos tipos de snacks nutritivos tales como los elaborados por (Carrasco, Pilco, & Zelada, 2011) quienes desarrollaron un snack (bocado) nutritivo utilizando la quinua y el maíz, así también (Cadena Maldonado & Yáñez Sotomayor, 2010) desarrollaron un snack listo para el consumo, hecho a base de gritz de maíz y chocho, en cualquiera de los dos casos se desarrolló un producto extruido valiéndose de materias primas propias de la zona andina del Ecuador con alto valor nutricional.

2.4 Influencia del diseño, formulación y condiciones de operación en el proceso de extrusion

2.4.1 Componentes del extrusor de tornillo simple.

El extrusor se compone de cinco partes principales: el Sistema de pre-acondicionamiento; el sistema de alimentación; el tornillo o gusano; el barril; la matriz y el mecanismo de corte.

Además, puede variar con respecto al tornillo, barril y configuración del dado. La selección de cada uno de estas elementos dependerá de la materia prima utilizada y el producto final deseado (Joy de acero et al., 2002).

Las partes principales con las que cuenta un extrusor son la reserve de alimentos, que es la materia prima o mezcla que va a ser procesada en el extrusor.

- **Sistema de Pre-acondicionamiento**

Pre-acondicionamiento con vapor o agua siempre ha sido una parte importante del proceso de extrusion. La investigación reciente ha demostrado que el rendimiento eficiente de la extrusora es casi el doble si el material de partida es pre-acondicionado con vapor o agua. Hay muchas aplicaciones de productos alimenticios cocidos extruidos donde un acondicionamiento previo juega un papel clave en el proceso global de extrusion. Estos productos incluyen los cereales en copos directos ampliados, pastas precocidad, proteínas vegetales texturizadas, sustitutos de carne, pan rallado y aperitivos extruidos de nueva generación (Joy de acero et al., 2002).

- **Sección de Alimentación**

La mayoría de las materias primas utilizadas en la extrusión de alimentos son sólidos. El sistema de alimentación se compone normalmente de una explosión en la que se carga el material para luego descargar el material a través de un tornillo vertical de alimentación, Es necesario garantizar una alimentación constante y no interrumpida de las materias primas en la extrusora para un funcionamiento eficiente y uniforme del proceso de extrusión.

Cuando se añade líquidos, puede dosificarse utilizando un rotámetro, medidor de desplazamiento positivo, medidor de flujo magnético o bombas dosificadoras (Joy de acero et al., 2002).

- **Barril o mangas**

El barril se divide en alimentación, amasado y zona de alta presión. Los mangos que rodean al tornillo pueden ser sólidos, pero a menudo se encamisa para permitir la circulación del vapor para la calefacción o el agua o aire para la refrigeración, lo que permite el ajuste preciso de la temperature en diversas zonas del extrusor. La mayoría de Barriles están equipados con

un medidor de presión y detección de temperatura con sus respectivos mecanismos de control (Joy de acero et al., 2002).

- **Tornillo**

El tornillo de la extrusora es, sin duda su componente más importante, no solo para determinar el grado de cocción, gelatinización y dextrinización del almidón y desnaturalización de las proteínas, sino también para garantizar la calidad del producto final. Los tornillos pueden ser mono-pieza los elementos del tornillo puede variar en número y formas, cada segmento está diseñado para un propósito específico. Algunos elementos solo transmiten la materia prima o el prea condicionado por el cilindro de la extrusora, mientras otros segmentos comprimen y desgasifican el material de alimentación. Otros deben promover el amasado, el reflujo y la cizalla (Joy de acero et al., 2002).

- **Perfil del tornillo**

El perfil del tornillo consiste en un tornillo sólido de una sola pieza rodeado por un cilindro, mostrando tres secciones geométricas distintas con un canal que tiene profundidad y paso constantes (Altan & Maskan, 2012).

La primera sección llamada sección de alimentación ofrece una alta capacidad de transporte de materia prima sólida y particulada (polvos sólidos y partículas). Su función es trasladar el material hacia abajo del tornillo (Bouvier & Campanella, 2014).

La siguiente sección llamada sección de compresión es donde el material se comprime bajo el efecto de compresión del tornillo. Al mismo tiempo el material se calienta por fricción inter particular y transferencia de calor conductora hasta que se produce la fusión. En esta sección el material cambia de un estado de partículas sólidas a un estado de fusión (Bouvier & Campanella, 2014).

La tercera sección llamada sección de medición es donde el material está idealmente en un estado fundido. Esta es una sección de bombeo en la que se acumula la presión necesaria para transportar y alimentar el material fundido a través de la abertura del troquel. Pero también se puede usar para afinar la conversión del material. La energía mecánica disipada

permite que el material se convierta en un estado reológico compatible con un procesamiento y formación satisfactorios (Bouvier & Campanella, 2014).

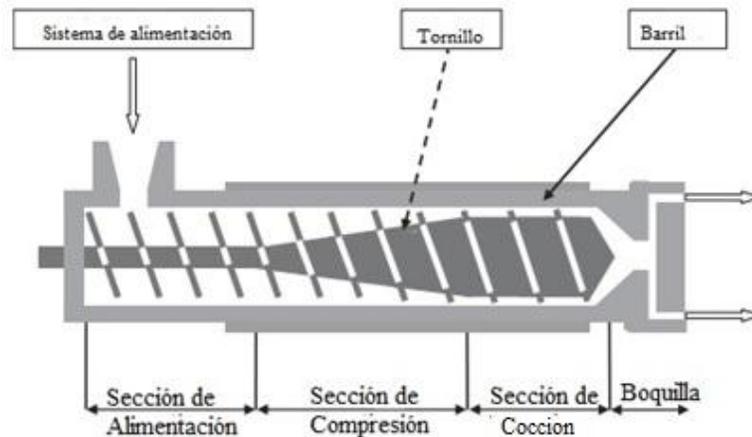


Figura 6 Vista esquemática de un conjunto de cilindro de tornillo monobloque de una etapa con secciones operativas

(Bouvier & Campanella, 2014).

- **Relación longitud diámetro del tornillo**

Relación longitud/diámetro (L/D): Para un diámetro de tornillo dado, la capacidad para fundir, mezclar y homogeneizar a una velocidad de giro del tornillo determinada aumenta al aumentar la longitud del tornillo, y por tanto la relación L/D. Sin embargo, tornillos excesivamente largos son difíciles de construir y alinear dentro del cilindro, de modo que no resultan operativos. La relación L/D típica para la extrusión de polímeros termoplásticos varía generalmente entre 20:1 y 30:1. (Beltrán & Marcilla, 2012) .

- **Dado**

La matriz presenta dos funciones principales: dar forma al producto final y promover la resistencia al flujo de material dentro de la extrusora que permite un aumento en la presión interna del extrusor. La matriz puede presentar varios diseños y varios tamaños de orificios. El dado puede ser diseñado para ser altamente restrictivo, dando un mayor relleno del barril, tiempo de residencia y entrada de energía. El diseño de troqueles y sus efectos sobre las propiedades funcionales y la calidad de un producto final son muchas veces pasados por alto (Joy de acero et al., 2002).

2.4.2 Nomenclatura de las partes del extrusor

Para una mejor comprensión de los diseños de extrusoras necesitamos establecer una nomenclatura básica para las piezas de extrusoras. La nomenclatura básica para el diseño del tornillo dentro de un barril se describe a continuación.

- **Apertura del barril (Db):** Esta dimensión se conoce generalmente como una abertura de barril en la que el tornillo gira. El diámetro real del tornillo D_s

se calcula utilizando la ecuación 1

$$D_s = D_b - 2d \quad \text{Ec:2.4.2-1}$$

- **Altura de vuelo (H):** H es la distancia entre la altura del diámetro del vuelo y el diámetro de la raíz del tornillo.

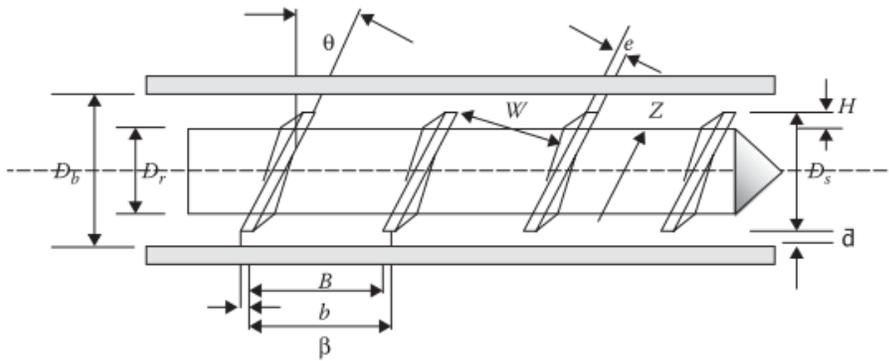


Figura 7 Diagrama esquemático de las piezas del extrusor y la geometría del tornillo extruido de una sola pieza

- **Diámetro de la raíz (Φ_r):** el diámetro de la raíz del tornillo en el que se encuentran los vuelos construido es la base del eje que lleva el par de rotación. calculado usando la siguiente ecuación.

$$\Phi_r = D_b - 2H \quad \text{Ec:2.4.2-2}$$

- **Juego de tornillos (2d)** El juego de tornillos es la diferencia entre el diámetro del tornillo y la abertura del cilindro. Calculado usando la siguiente ecuación.

$$2d = Db - Dr \quad \text{Ec:2.4.2-3}$$

- **Ventaja (β):** ventaja o inclinación es la distancia axial entre el borde anterior del vuelo en el diámetro exterior y el borde anterior del mismo vuelo en frente.
- **Ángulo de hélice (θ):** el ángulo de hélice se define como el ángulo del vuelo con respecto al plano normal del eje del tornillo.

$$\theta = \arctan(\beta / \pi D S) \quad \text{Ec:2.4.2-4}$$

- **Canal:** La abertura helicoidal que se extiende desde la alimentación hasta el extremo de descarga del tornillo. Un canal está formado por el lado interno del vuelo y la parte superior del diámetro de la raíz del tornillo y la superficie de la abertura del barril.
- **Ancho del canal axial (W):** el ancho del canal se mide desde un lado del vuelo al siguiente dentro del canal perpendicular al ángulo del vuelo.

$$W = B \cos \theta \quad \text{Ec:2.4.2-5}$$

donde B es la distancia axial entre los vuelos

- **Anchura de vuelo axial (b):** b es la anchura de un vuelo de tornillo en la dirección axial. El ancho del vuelo axial está relacionado con el avance y la distancia axial entre los vuelos.

$$b = \beta - B \quad \text{Ec:2.4.2-6}$$

- **Ancho de vuelo (e):** es el ancho del tornillo de vuelo medido perpendicular a la cara del vuelo que a veces se conoce como el espesor del hombro de vuelo.
- **Longitud del canal (Z):** Z es la longitud del canal del tornillo en la dirección Z que puede ser una o más vueltas completas de la hélice del tornillo.
- **Velocidad de la punta del tornillo (V):** V es la velocidad de la punta del tornillo que depende del diámetro del tornillo y la velocidad de rotación (N) del eje

$$(V = \pi D S) N \sim \pi D b N). \quad \text{Ec:2.4.2-7}$$

- **Número de vueltas de vuelo (p):** p es el número total de vuelos individuales en una dirección axial. Esto puede ser un vuelo único o vuelos múltiples que se encuentran comúnmente cuando el tornillo entra en la fase de compresión de la extrusora.
- **Volumen disponible del canal de tornillo (Va):** Va es el volumen útil disponible del vuelo de tornillo que determina la capacidad volumétrica total de la extrusora. Este valor se usa comúnmente como la capacidad real comparativa de un extrusor en comparación con otro basado en la misma potencia y el mismo diámetro del tornillo. Es importante tener en cuenta que la capacidad del extrusor se basa en el volumen del producto que se puede extruir dentro de un período de tiempo determinado por ejemplo por hora. Muchos fabricantes pueden citar la capacidad de su extrusor a una tasa mucho mayor ya que la base para su evaluación del extruido puede basarse en una mayor densidad aparente de la materia prima que la del extrusor comparativo del fabricante. Un buen ejemplo de este concepto erróneo es comparar la capacidad del extrusor del almidón de maíz con una densidad aparente de aproximadamente 368 kg/m³ con la capacidad extrusora de grano entero o una rejilla con 640 kg/m³ con la misma velocidad de tornillo y el perfil de tornillo el almidón de maíz puede extruir la mitad de la capacidad del grano entero.
- **Relación de compresión (CR):** Esta es la relación obtenida al dividir el volumen de alimentación disponible del tornillo al siguiente volumen del tornillo lo que genera la presión necesaria para procesar la materia prima.
- **Relación de la longitud del barril al diámetro (L / Ds):** Esta es la relación del diámetro del tornillo a lo largo del cañón. Si el cilindro de la extrusora está en segmentos un segmento generalmente se denomina relación L / D y la configuración total del barril se conoce como un número de estas relaciones. Por ejemplo, una extrusora de segmento de seis barriles con

$$4L / Ds \quad 24L / Ds.$$

Ec:2.4.2-8

- **Entrada de cono o matriz:** esto generalmente se conoce como el final de la última sección de la extrusora y la entrada a la cavidad de la matriz. Por lo general se

representa como una adición en forma de cono al extremo del tornillo para dirigir la masa fundida hacia el área del troquel con una restricción mínima y un desarrollo de presión.

- **Partes de la matriz del extrusor**

El diseño de la matriz del extrusor puede ser tan complejo como el diseño del tornillo del extrusor o puede ser simple como otra etapa del proceso del extrusor. En este caso revisaremos las diversas partes de un troquel de extrusión que en algunos casos no pueden estar presentes como secciones independientes sino como una sección combinada con las otras partes del troquel.

- **Tornillo y cono del eje (Cs)**

los extremos del eje del tornillo S y el cono del tornillo Cs diseñados para un proceso específico para que pueda existir un cambio en el cono del extremo del tornillo Cs. Para la extrusión de materias primas almidonadas o farináceas el diseño es en su mayoría abierto y puede haber un gran volumen de espacio entre el cono de matriz Cd y apertura del cono del tornillo Cs. Por el contrario, la materia prima proteica requeriría un espacio muerto mínimo entre el cono del tornillo y el ensamblaje del troquel y un patrón de flujo fácil dentro del ensamblaje del troquel hasta la abertura final del troquel.

Entrada del cono del troquel (Cd) si la entrada del troquel es circular con varios orificios que conducen a la cavidad del troquel Cd, se utiliza para repartir igualmente la masa entre el troquel y los orificios de entrada con presión y velocidad similares para equilibrar el flujo de producto a través de la salida final del troquel.

- **Ensamblaje de troqueles**

Ensamblaje del troquel se puede ubicar al final del tornillo de la extrusora. También puede diseñarse de modo que se mantenga por sí solo con su propio sistema de soporte mientras la extrusora alimenta el ensamblaje del troquel Da a través de una tubería como camino o una cámara desde una sola abertura o una serie de aberturas uniformes referidas como la entrada del dado de Diseños que requieren que el ensamblaje del troquel sea remoto desde el extremo del tornillo se utilizan en procesos de laminado o troqueles de cuello de ganso donde se necesita espacio adicional para expandir las aberturas del troquel para la coextrusión para

ensamblaje de laminado o laminado y para la utilización del proceso de calendario. El ensamblaje del troquel está básicamente formado por el cono del troquel C_d la placa de presión de entrada D_p el canal del dado o cavidad D_c para equilibrar el flujo en la placa de matriz y finalmente la matriz placa frontal D_f que pueden tener las salidas con forma de matriz formadas en la placa de matriz o diseñado para utilizar los insertos de matriz D_i para diversificar aún más la utilización de los diversos formas y diseños.

(Altan & Maskan, 2012)

2.4.3 Condiciones de operación del proceso de extrusión

En general las condiciones de procesamiento se caracterizan por bajos contenidos de agua (en el rango de 14-32% wwb) altas temperaturas (100-160°C) y tiempos de residencia cortos (8-40 segundos). Debido a estas condiciones extremas de procesamiento la cocción por extrusión se reconoce como un proceso de cocción a alta temperatura y tiempo corto (HTST) (Bouvier & Campanella, 2014).

- **Temperatura**

La temperatura es un parámetro importante en la extrusión ya que, La temperatura alterna la viscosidad, la cual disminuye conforme aumenta la temperatura aumentando así también la textura. Conforme el producto va pasando por el troquel, se va generando calor en sus superficies mediante disipación viscosa (fricción). Esto puede ocasionar un exceso de expansión en la superficie del producto resultando en una textura rugosa con células abiertas en la superficie (Acosta, 1990; Hsieh & Li, 1996).

Aumentar la temperatura del barril aumenta la temperatura de fusión lo que resulta en una disminución de la viscosidad dentro de la extrusora. Esto reduce la entrada de energía mecánica y el par motor. La presión del troquel generalmente disminuye, aunque puede no ser significativa. Se espera que la densidad del producto disminuya. La expansión radial puede disminuir debido al menor hinchamiento del extruido en la matriz (Altan & Maskan, 2012).

La temperatura del barril también puede influir en la eficiencia de transporte de la extrusora. Esto se debe a que puede cambiar el factor de fricción entre el material y el cilindro (Altan & Maskan, 2012).

Por lo general cuanto más caliente esté la superficie menor será el factor de fricción lo que resultará en un mayor deslizamiento y grado de llenado en la extrusora. Esta influencia puede ser más pronunciada en las extrusoras de tornillo simple que en las de doble tornillo. Por lo tanto aumentar la temperatura del barril en realidad también puede resultar en un par más alto y una mayor entrada de energía mecánica (Altan & Maskan, 2012).

Para la evaluación del producto extruido final, dos factores son muy importantes y deben tenerse en cuenta: EL ISA y el IAA. Las conclusiones que han encontrado los muchos estudios sobre estas propiedades fueron que el IAA aumenta para una amplia variedad de productos de almidón con el aumento de temperatura en el barril de la extrusora. (Arêas et al., 2016).

- **Velocidad del tornillo**

Básicamente la velocidad del tornillo influye significativamente en la expansión del producto. La expansión aumento a medida que sube la velocidad del tornillo dándonos productos más expandidos (Obradović et al., 2014).

Aumentar la velocidad del tornillo aumenta la velocidad de corte y la entrada de energía mecánica en todas las secciones rellenas. Sin embargo, también reduce la longitud de las secciones de bombeo de fusión. En general resulta en una mayor entrada de energía mecánica (pero menor par del motor) mayor temperatura de fusión menor presión del troquel y mayor expansión del producto. Con elementos de tornillo y paletas de baja capacidad de transporte el grado de llenado (Altan & Maskan, 2012).

puede aumentar significativamente con la reducción de la velocidad del tornillo por debajo de un cierto nivel de umbral. En este caso ocurre lo contrario al resultado anterior lo que provoca un aumento gradual en el par del motor y la entrada de energía mecánica. La velocidad del tornillo tiene una influencia más significativa en la entrada de energía en alta (Altan & Maskan, 2012).

Configuraciones de tornillos restringidas como las que contienen una parte alta de paletas inversas / elementos de tornillo. El grado de llenado en las secciones de flujo restringido y no hacia adelante no cambia independientemente de la velocidad del tornillo(Altan & Maskan, 2012).

- **Presión**

La presión generada en el extrusor permite la destrucción de microorganismos como bacterias, mohos y levaduras. Además, cuando la materia prima ingresa al extrusor ya sea cortada o molida permite que las células se rompan aumentando la disponibilidad de los nutrientes, con lo que el material queda cocido completamente, lo que permite aumentar la digestibilidad de los nutrientes y palatabilidad (Zúñiga, 2005).

La caída de presión de entrada afecta a la relación de diámetro del cilindro al troquel al flujo dentro del troquel y al esfuerzo cortante entre otros. Estos factores son importantes en el diseño de la extrusora de alimentos (Adekola, 2015).

- **Diámetro del orificio de boquilla**

Es representativo el tamaño de la extrusora y afecta a gran medida la velocidad de flujo, ya que a menor diámetro de orificio incrementa el diámetro de expansión del producto (Joy de acero et al., 2002).

Aumentar la resistencia de la matriz al flujo de masa fundida reduciendo el número de salidas de matriz o disminuyendo las dimensiones físicas del área de apertura generaría una mayor caída de presión a través de la matriz. Esto requeriría una sección de bombeo de fundición más larga antes de la matriz produciendo un tiempo de retención más largo y una mayor tasa de entrada de energía mecánica. Esto último resultará en una mayor torsión del motor y temperatura del producto en la matriz (Altan & Maskan, 2012).

La viscosidad de fusión más baja resultante produce un aumento de la presión del producto más bajo que de lo contrario sería el caso. La mayor velocidad de corte dentro de la matriz también puede impactar la presión resultante dependiendo de la naturaleza no newtoniana del material. La densidad del producto disminuye debido a la mayor temperatura de fusión. Se espera que la expansión radial aumente debido al mayor hinchamiento del extruido (Altan & Maskan, 2012).

- **Tiempo de residencia**

El tiempo de residencia es un factor clave para proporcionar la conducción de la energía térmica y también la hidratación de las partículas porque una distribución de tiempo de

residencia muy estrecha proporciona un equilibrio homogéneo para que todas las partículas tengan acceso a las energías de hidratación conducción conversión y conversión simultáneamente(Altan & Maskan, 2012).

Al describir el proceso de extrusión es de gran importancia definir el tiempo de residencia de las partículas de material en la extrusora. Sobre la base de esta distribución de tiempo es posible establecer el grado de mezcla del material anticipar el curso de la plastificación y el grado y grado de uniformidad en la deformación de la corriente de material líquido durante la extrusión(M. Moscicki, 2011).

- **Tamaño de partícula**

El tamaño de la partícula afecta la facilidad de cocción la expansión del producto y la relativa contracción del producto terminado y un aumento en el contenido de proteínas tiende a disminuir la expansión de las extrusoras. Cuanto más pequeñas sean las partículas o más fina se muele la harina más rápida será la hidratación lo que requerirá una menor energía térmica para gelatinizar el gránulo de almidón(Altan & Maskan, 2012).

La distribución del tamaño de partícula del ingrediente (tamaño del tamiz) puede ser limitante. Los polvos muy finos pueden no alimentarse bien en un extrusor de un solo tornillo a menos que el material este reacondicionado por otra parte la cocción de un alimento muy grueso no se realizara adecuadamente. (Riaz & Rokey, 2015).

Elegir el tamaño adecuado de la partícula o moler antes de la extrusión depende de varios factores. la el tamaño del orificio de la matriz, el grosor de la pared celular y el tamaño de celda o poro deseado en el producto final, y la apariencia de la superficie son bastante influenciadas por el tamaño de partícula de la receta antes de la extrusión. Pequeñas partículas en la formulacion antes de la extrusión generalmente indican que esta materia prima se debe hidratar y extruir de una manera mas simple(Riaz & Rokey, 2015).

Es más común que las recetas contengan partículas que son muy grandes en lugar de partículas que son muy pequeñas. Sin embargo, la molienda de una receta para un tamaño de partícula muy pequeño puede resultar en costos de molienda muy altos, ya que el rendimiento de los ingresos será muy reducido en la operación de molienda. Si todas las partículas son inferiores a 400 en algunas recetas, las propiedades de transporte de esa receta se verán

comprometidas y las partículas más pequeñas pueden hidratarse muy rápidamente, ya que preferentemente absorben el agua disponible. El resultado final puede ser hidratación no uniforme y propiedades pegajosas que pueden afectar la estabilidad del proceso de extrusión (Riaz & Rokey, 2015).

2.4.4 Formulación del material (Materias primas)

- **Contenido de humedad**

El agua necesaria que se va a utilizar para la cocción de la mezcla se la obtiene de la materia prima y la humedad que se añade por medio de la sección de alimentación; el contenido total de humedad dentro del extrusor está en un intervalo de 16% - 20%. El porcentaje de humedad en la masa afecta significativamente la viscosidad aparente, la expansión y la resistencia a la rotura del producto extruido. Además se alcanza índices de absorción y de solubilidad de agua a niveles más bajos de humedad, hecho que se atribuye a la modificación del almidón (R. Guy, 2001).

Aumentar el contenido de humedad del alimento podría aumentar las interacciones entre los enlaces disulfuro y los enlaces de hidrógeno y entre los enlaces disulfuro y las interacciones hidrófobas reducir el grado de agregación y la diferencia en las interacciones proteína-proteína y subunidades de proteínas entre diferentes zonas dentro de la extrusora (Obradović et al., 2014).

Siendo así como regla general la gelatinización de los almidones es mayor con un mayor contenido de humedad siempre que haya suficiente energía durante la extrusión para romper la unión intermolecular (Riaz & Rokey, 2015).

El agua tiene un efecto significativo sobre la viscosidad de los materiales alimenticios. Con la disminución de la viscosidad del fundido la entrada de energía mecánica específica disminuye dando como resultado un menor una temperatura 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 (Altan & Maskan, 2012).

Cuando aumenta el contenido de humedad del material de alimentación hay una disminución en la energía mecánica específica (SME) la viscosidad aparente y el Expansión radial durante

la extrusión de granos de maíz. Se informó de una disminución en la Expansión Radial de la harina de maíz cuando el contenido de humedad de la extrusión aumentó de 19.5 a 21.5% (w / w). La disminución en la expansión volumétrica con un mayor contenido de humedad se da por la contracción y el colapso del extrudido después de la expansión máxima (Bordoloi & Ganguly, 2014).

El IAA mide la cantidad de agua absorbida por el almidón y puede utilizarse como un índice de gelatinización ya que el almidón nativo no absorbe el agua a temperatura ambiente (Ajita & Jha, 2017).

- **Contenido de lípidos**

Los materiales altos en grasa generalmente no son extruidos. Niveles de lípidos más del 5-6% perjudican el rendimiento del extrusor. El torque disminuye debido a que los lípidos se deslizan dentro de la barra y a menudo la expansión del producto es pobre debido a que no se desarrolla una presión suficiente durante la extrusión (Riaz, 2000).

La grasa líquida o sólida afecta el rendimiento del extrusor de diferentes maneras según su tipo, concentración, el diseño y las condiciones de operación del extrusor. Si la grasa agregada se mezcla bien con el alimento actúa como un agente reductor de la viscosidad y afecta a la extrusora de manera muy parecida a la del agua. Los aceites y las grasas sin embargo no reducen la temperatura de fusión del almidón. Con una concentración relativamente alta de aceite / grasa la extrusora puede no ser capaz de generar energía adecuada (a través de la disipación de calor viscoso) para cocinar el almidón (Altan & Maskan, 2012).

A altas concentraciones de grasa y altas temperaturas de extrusión se puede eliminar algo de grasa en la salida del troquel con el vapor quemado. Si la grasa agregada no se puede mezclar completamente antes o dentro de la extrusora (Altan & Maskan, 2012).

La adición de grasa también tiene un impacto en el proceso de extrusión, ya que la grasa actúa como un lubricante que reduce la fricción entre las partículas en la formulación y entre la formulación y los componentes internos de la extrusora. Cuanto menor sea la cantidad de fricción, menor será la entrada de energía mecánica, resultando en menor expansión (mayores densidades aparentes del producto) (Riaz & Rokey, 2015).

- **Contenido de fibra**

El efecto de la fibra en el rendimiento del extrusor no es consistente. Es probable que esto se vea afectado por el índice de absorción de agua (IAA) de las fibras individuales en las condiciones de extrusión prevalecientes. Las fibras IAA altas (como el psyllium) aumentan la viscosidad del material y la entrada de energía mecánica. Por otro lado el aumento de la concentración de fibra de trigo (salvado) a expensas de la harina de trigo tiene un efecto neutro o ligeramente reductor en el aporte de energía mecánica(Altan & Maskan, 2012).

La presión del troquel generalmente disminuye al aumentar la concentración de salvado de trigo. A diferencia del almidón las fibras solas no tienen la capacidad de formar poros altamente expandidos(Altan & Maskan, 2012).

estructuras Por lo tanto aumentar su concentración a expensas del almidón generalmente aumenta la densidad del producto. Las fibras al igual que otros ingredientes de relleno influyen en el producto expandido y producen una estructura de tamaño de celda más pequeña. Con algunas fibras esto es muy pronunciado incluso en concentraciones muy bajas cuando el impacto en la densidad aún no es significativo(Altan & Maskan, 2012).

A niveles de inclusión inferiores al 5%, hay muy poco impacto de la fibra en el proceso de extrusión. Esto es especialmente cierto si el tamaño de partícula del ingrediente fibroso es inferior a 400 μ m. En general, parece que un tamaño de partícula menor tiene un efecto menos perjudicial sobre la expansión, pues el tamaño de menos de 50 μ m produce una estructura celular muy fina en el producto extruido(Riaz & Rokey, 2015).

Las partículas gruesas muy grandes en la fuente de fibra limitarán la expansión y pueden resultar en una apariencia superficial muy áspera. El más soluble de fibra tiene menos impacto en la expansión. Hay indicios de que la extrusión podría aumentar ligeramente los niveles de fibras solubles como resultado de condiciones de procesamiento extremas(Riaz & Rokey, 2015).

- **Contenido de proteína**

La influencia de las proteínas en el rendimiento del extrusor también es inconsistente y es probable que dependa de su IAA y del impacto en las características de viscosidad del material(Altan & Maskan, 2012).

De esta manera se desempeñan de manera similar a la de las fibras. Generalmente las proteínas de cereales y leguminosas no son tan buenas como el almidón cuando se trata de formar una estructura porosa altamente expandida. Por lo tanto aumentar su concentración a expensas del almidón generalmente aumenta la densidad del producto expandido(Altan & Maskan, 2012).

A medida que el nivel de proteína en una receta se aumenta - generalmente a la costa del almidón - hay cambios en la expansión, textura y durabilidad del producto. Los niveles más altos de proteínas generalmente resultan en una menor expansión, ya que la proteína es menos viscoelástica que el almidón. El aumento de los niveles de proteína también resulta en texturas más firmes o difíciles en comparación con los ingresos de almidón. Muchas proteínas no son funcionales, es decir, no contribuyen a la expansión y unión en la matriz del producto extruido(Riaz & Rokey, 2015).

En general Índice de absorción de agua disminuye al aumentar el nivel de proteína principalmente debido a una reducción en el contenido de almidón. Por otro lado, el índice de solubilidad de agua pareció aumentar con el aumento del contenido de proteína. La adición de materia prima con altos porcentajes de proteína tuvo una contribución favorable contrarrestando los efectos de los lípidos y la fibra(Obradović et al., 2014).

- **Almidones**

Para la clasificación de los tipos de almidones debemos tomar en cuenta la estructura de estos ya que los almidones incluyen regiones tanto amorfas como ordenadas estas últimas compuestas de cadenas cortas de amilopectina dispuestas en forma de agrupamiento. Con respecto a la disposición de la red cristalográfica en las zonas ordenadas existen dos tipos de estructura cristalina o tipos polimórficos A y B. Los almidones de tipo A se forman a partir del empaque ortogonal de hélices dobles con una pequeña cantidad de agua en su estructura que va estrechamente unida. Los polimorfos de tipo B están formados por un empaque

hexagonal más abierto de las hélices dobles con moléculas de agua por unidad de celda algunas de ellas ubicadas en canales formados por el empaque hexagonal, generalmente los cereales tienen estructuras polimórficas tipo A y los tubérculos tienen estructuras polimórficas tipo B, lo que se desea obtener mediante la extrusión es romper las estructuras polimórficas más cristalinas y transformarlas en amorfas con una mayor viscosidad (Janssen Leon & Moscicki Leszek, 2009).

Los tubérculos son fuentes importantes de materias primas para la obtención de productos extruidos. Ya que la estructura de los almidones de los tubérculos parece ser más amorfa que la de los cereales por tener una estructura tipo B y por lo tanto las harinas de estas raíces tienen un alto contenido de amilopectina, tienden a producir pastas más fibrosas y viscosas. Por otra parte, cuando dichos almidones son gelatinizados, los productos rehidratados, serán bastante tersos (Riaz, 2000).

La mayoría de los estudios reconocen que el almidón gelatinizado desempeña un papel importante en la expansión al proporcionar la capacidad de retención de gas a la masa fundida extruida (Bordoloi & Ganguly, 2014).

La gelatinización del almidón durante el procesamiento de la extrusión tiene una gran influencia en la densidad a granel de los productos extruidos. La baja temperatura de procesamiento disminuye la extensión de la gelatinización lo que conduce a una baja hinchazón bajo volumen y alta densidad aparente. El índice de absorción de agua (IAA) y el índice de solubilidad en agua (ISA) están relacionados con el grado de fragmentación del almidón. Mayor IAA indica la presencia de fragmentos de almidón más grandes mientras que mayor ISA implica que el almidón ha sido dextrinizado (Obradović et al., 2014).

- **Minerales**

La presencia de niveles significativos de minerales y componentes grasos puede reducir la expansión. Esto se debe principalmente a la estructura de las cenizas que modifican el comportamiento reológico de la masa durante la extrusión (Altan & Maskan, 2012)

2.5 Cambios nutricionales durante la de extrusión

Durante la cocción por extrusión se sospecha que la fuerza de cizalla juega un papel importante en el cambio de valor nutricional de los materiales proteínicos. Normalmente las

fuerzas de cizallamiento durante la extrusión se modifican cambiando la velocidad del tornillo. Sin embargo, al cambiar la velocidad del tornillo también se ve afectado el tiempo de residencia por esta razón demostrado que la extrusión altera los cuerpos proteínicos mejorando su digestibilidad (Alam, Kaur, Khaira, & Gupta, 2015).

- **Proteínas**

El valor nutricional de la proteína depende de la cantidad de digestibilidad y la disponibilidad de aminoácidos esenciales. La digestibilidad se considera el determinante más importante de la cantidad de las proteínas en adultos. El valor nutricional de las proteínas vegetales suele mejorarse gracias a las condiciones de cocción por extrusión dándose así en el producto un aumento en la digestibilidad. Probablemente sea el resultado de la desnaturalización de las proteínas y la inactivación de los inhibidores de las enzimas en las plantas crudas (Arêas et al., 2016).

En general las condiciones de cocción por extrusión promueven la disociación desnaturalización orientación y reticulacion de proteínas nativas de las materias primas a la salida del equipo. La mayoría de las reacciones de reticulacion de proteínas observadas a lo largo del proceso de extrusión participan en la formación de la estructura supramolecular que estabiliza y texturiza los productos extruidos. El contenido o tipo de proteína pueden producir una resistencia estructural distinta después de la extrusión y todo ese conocimiento puede ser utilizado para mejoras tecnológicas. Sin embargo, ninguno de estos cambios afecta el valor nutritivo del producto de extrusión final ni produce ninguna amenaza para la salud (Arêas, Rocha-Olivieri, & Marques, 2016).

- **Almidones**

El almidón es una mezcla heterogénea de dos macromoléculas, amilosa y amilopectina, que difieren en grado tamaño- molecular y ramificación, que se encuentra en abundancia en la naturaleza, Se presenta en la forma de gránulos con forma y tamaño dependiendo de su fuente botánica (Roca, Demiate, Mar, & Franco, 2008).

Su funcionalidad depende del peso molecular promedio de la amilosa y la amilopectina, así como de la organización molecular de estos glucanos dentro del gránulo (A. Torres, Durán, & Montero, 2013).

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. En general la gelatinización ocurre cuando el agua es absorbida por los gránulos de almidón resultando un cambio en la conformación de la estructura de los polímeros. 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 (Lawton, Henderson, y Derlatka, 1972).

Cuanto mayor es la temperatura de extrusión y menor el contenido de humedad de la materia prima, mayor será la división del enlace dentro de las moléculas de alto valor nutricional. Para la evaluación del producto extruido final dos factores son bastante importantes y debe tenerse en cuenta el: ISA (Índice de solubilidad de agua) y el IAA (Índice de absorción de agua) son los parámetros con los que se miden los cambios en el almidón durante la extrusión (Areas, Olivieri, Marques, Sa, & Paulo, 2016).

- **Lípidos**

En general las materias primas utilizadas en todo el proceso de extrusión contienen bajas cantidades de lípidos. La fricción necesaria para la transferencia de energía mecánica al material extruido es esencial para la extrusión de alimentos. Las grandes cantidades de lípidos pueden causar que el barril se torne resbaladizo y esto perjudique el proceso. Se produce cierto hidrolisis de lípidos en la extrusión generalmente provocado por acción de las lipasas (Arêas et al., 2016).

Sin embargo algunas otras reacciones relacionadas con los lípidos como la oxidación de los lípidos la unión de los lípidos debido a las interacciones con el almidón y las proteínas la destrucción y formación de antioxidantes la isomerización cis-trans de los ácidos grasos insaturados y la degradación de las enzimas que dividen la grasa juegan un papel importante en La vida útil del extruido y las pérdidas nutricionales (Ilo, Schoenlechner, & Berghofe, 2000).

. La combinación adecuada de humedad y calor son responsables de reducir la actividad de las lipasas en el proceso de extrusión disminuyendo los factores que favorecen la producción

de ácidos grasos libres. La inactivación de las enzimas que se producen durante el proceso de extrusión promueve una mayor vida útil del producto final. La oxidación de los ácidos grasos también puede ocurrir en un grado limitado (Arêas et al., 2016).

- **Fibra**

Se han realizado pocos estudios sobre el efecto de la cocción por extrusión u otros procesos en la fibra dietética. La degradación de los componentes de las fibras dietéticas puede ocurrir en procesos que involucran corte. Se sabe que los enlaces glicosídicos de la celulosa pueden romperse durante la molienda en seco en un molino de bolas. También se sabe que la degradación en el colon de la fibra es inversamente proporcional a su tamaño de partícula (Arêas et al., 2016).

Por lo tanto, la interrupción y homogenización de las partículas debido al intenso trabajo mecánico durante la extrusión podría dejar la fibra dietética más disponible para la fermentación en el colon. La extrusión termoplástica provoca cambios estructurales en biopolímeros con transformación significativa en los polisacáridos (Arêas et al., 2016).

Debido a esto la estructura y composición de la fracción de fibra experimentan un cambio en el peso molecular de los polisacáridos constituyentes. En general se observa un aumento entre el 10% y el 15% en el contenido de la fracción de fibra dietética soluble (SDF) a expensas de la insoluble. Los tratamientos enzimáticos o ácidos pueden aumentar esta proporción siendo una herramienta adicional para lograr niveles más altos de fibra soluble (Arêas et al., 2016).

- **Vitaminas**

Las vitaminas pueden ser destruidas por la acción de la temperatura o por oxidación. Dado que la extrusión implica principalmente un tratamiento térmico a temperaturas de 100 ° C o más se espera cierta pérdida de vitaminas en el material procesado especialmente de los sensibles a la temperatura y solubles en agua como la vitamina C (M. Moscicki, 2011).

La preocupación por la reducción de los niveles de vitaminas hace que algunos fabricantes apliquen las vitaminas después de la extrusión como un aerosol. Una investigación más reciente se ha centrado en la estabilidad de la vitamina en los alimentos (R. C. E. Guy, 2015).

Entre las vitaminas solubles en lípidos las vitaminas D y K son bastante estables. Las vitaminas A y E y sus compuestos relacionados carotenoides y tocoferoles respectivamente son estables en presencia de calor (Riaz, 2000).

- **Minerales**

La biodisponibilidad mineral se define como la proporción de la ingesta dietética total que se utiliza para el cuerpo normal función. El principal determinante de la biodisponibilidad de Fe y Zn es la proporción del nutriente que se absorbe del tracto gastrointestinal. Esto está muy influenciado por factores fisicoquímicos y dietéticos (Drago, Velasco-González, Torres, González, & Valencia, 2007).

En general, las condiciones de extrusión no afectan la biodisponibilidad del hierro y zinc ayudando a la eliminación de tienen fitatos y polifenoles, ya que inhiben la absorción de hierro y zinc los humanos (Drago et al., 2007).

2.6 Parámetros de calidad durante el proceso de extrusion.

La cocción por extrusión tiene una importante influencia en la calidad del producto final enfatizando características como expansión textura vida útil color y sabor.

Parámetros como la humedad y temperatura pueden afectar en el proceso de extrusion, variando así las características del producto final como textura estructura expansión y atributos sensoriales (Thejaswini, 2014).

2.6.1 Propiedades funcionales de los extruidos

Las propiedades funcionales de los extruidos son muy importantes ya que nos ayudan a ver los cambios producidos durante el proceso de extrusión estas son el índice de absorción de agua, índice de solubilidad de agua, índice de expansión y densidad aparente.

2.6.1.1 Índice de absorción de agua.

La absorción de agua depende de la disponibilidad de grupos hidrófilos que se unen a las moléculas de agua y de la capacidad de formación de gel de las macromoléculas, la reducción en el IAA de los productos extruidos mediante la adición de subproductos se ha atribuido a la disminución relativa en el contenido de almidón y la competencia de la absorción de agua entre la materia prima introducida y almidón disponible (Altan & Maskan, 2012).

También se encontró una disminución en la capacidad de retención de agua como resultado de un aumento en la proporción de fibra / almidón de maíz en la extrusión de mezclas de fibra de maíz y almidón de maíz. Concluyeron que el almidón de maíz gelatinizado tiene una capacidad de retención de agua mucho mayor que la hemicelulosa o la celulosa los componentes principales de la fibra de maíz; por lo tanto, cualquier reducción en el almidón gelatinizado debería reducir la capacidad de retención de agua del producto extruido (Altan & Maskan, 2012)

La disminución de la IAA con el aumento de la temperatura se debió probablemente a la descomposición o degradación de las moléculas de almidón. Se ha atribuido a la degradación del almidón que causa una reducción en la capacidad de retención de agua de las moléculas como resultado de una disminución en el tamaño molecular (Altan & Maskan, 2012).

2.6.1.2 Índice de solubilidad de agua

La solubilidad en agua proporciona información sobre la degradación. Se han observado diferentes resultados sobre el efecto de la incorporación de subproductos alimenticios en la funcionalidad de los extruidos (Altan & Maskan, 2012).

Un aumento en el ISA se ha atribuido a un aumento en la cantidad de almidón dextrinizado durante la cocción por extrusión. Por otro lado se propuso que las interacciones moleculares entre el almidón degradado las proteínas y los componentes lipídicos que causan un aumento en el peso molecular dieron como resultado una disminución de la solubilidad dándose así combinación de condiciones severas y bajo contenido de humedad causando un aumento en la cantidad de gránulos de almidón degradados lo que resultó en una mayor formación de productos solubles en agua (Altan & Maskan, 2012).

También se descubrió que el ISA depende de la cantidad de moléculas solubles que está relacionada con la degradación. Así también la solubilidad en agua generalmente aumenta cuando las cadenas de almidón se degradan en fragmentos más pequeños a una velocidad de tornillo más alta dando lugar a una mayor fragmentación que una velocidad de tornillo más baja y por lo tanto aumentó el ISA de los extruidos de arroz (Altan & Maskan, 2012).

El mayor ISA de los productos extruidos con el aumento de la velocidad de los tornillos se relacionó con el aumento de la entrada SME(energía mecánica específica) con la velocidad

del tornillo. Una mayor entrada de SME provoca una mayor restricción al flujo de material lo que resulta en la descomposición de los polímeros en moléculas pequeñas con mayor solubilidad dándose así un aumento en ISA con un peso molecular decreciente o que el peso molecular disminuye al aumentar la SME, También se encontró mayor solubilidad en agua con grandes insumos de energía mecánica. (Altan & Maskan, 2012).

2.6.1.3 Índice de expansión.

En un proceso de cocción por extrusión de alimentos la expansión del producto (extruido) es una propiedad fundamentalmente importante que describe la calidad del producto y está directamente relacionada con el grado de cocción. A menos que la expansión de extrusión cumpla con ciertas especificaciones el producto no es aceptable. Por lo tanto la comprensión de los efectos de los parámetros del proceso en la expansión del extruido se vuelve crucial en el proceso de cocción por extrusión (Ajita & Jha, 2017).

La expansión es el parámetro más dependiente del contenido de humedad del material y la temperatura de extrusión. Se desarrolló un modelo general de expansión de extruido que incluye la expansión radial longitudinal y volumétrica, Aunque la mayoría de estos estudios utilizaron la expansión radial como medida de la calidad para la expansión del extruido (Alam et al., 2015).

Los parámetros de expansión se derivaron tanto del crecimiento de la burbuja al tamaño máximo como de la consiguiente contracción, diciéndonos así que el volumen expandido de alimento disminuyó con cantidades crecientes de proteínas en el material de alimentación, pero aumentó con el aumento del contenido de almidón (Ajita & Jha, 2017).

Por otro lado, podemos definir que a un mayor nivel de alimentación de agua durante el proceso de extrusión disminuye la expansión radial. Como también disminuye y aumenta la densidad aparente de los extruidos (Alam et al., 2015). A una mayor velocidad del tornillo se produjo una disminución de la expansión seccional junto con un aumento en la expansión longitudinal (Ajita & Jha, 2017).

La incorporación de altos niveles de fibra en productos extruidos a menudo nos reporta resultado como una textura compacta resistente no crujiente e indeseable en productos extruidos y también una expansión reducida (Ajita & Jha, 2017).

2.6.1.4 Densidad Aparente

También se investigó el efecto de las condiciones de extrusión (temperatura, contenido de humedad de alimentación tiempo de residencia y velocidad de rotación) sobre las propiedades estructurales del almidón de maíz extruido. La densidad aparente aumenta ligeramente a medida a que el tiempo de residencia aumente para todos los contenidos de temperatura y humedad, mientras que la porosidad y la relación de expansión de los productos extruidos disminuyo con el tiempo de residencia (Ajita & Jha, 2017).

Un aumento en la densidad aparente se produce gracias al aumento del contenido de fibra del material de alimentación. Esto se debe a que la presencia de partículas de fibra tendió a romper las paredes celulares antes de que las burbujas de gas se expandieran a su potencial máximo. También se informó que los gránulos de almidón parcialmente fundidos se adherían a las paredes celulósicas lo que conducía a una pared compuesta de celulosa almidón gelatinizado y proteína celular. La formación de esta pared compleja debe restringir la capacidad de expansión del producto (Altan & Maskan, 2012).

La limitación del agua en la cámara de extrusion producida por un inadecuado acondicionamiento podría dificultar la gelatinización del almidón lo que podría ser otro factor para aumentar la densidad aparente (Altan & Maskan, 2012).

En alimentos extruidos la textura es de gran importancia siendo su mayor característica la crujencia. Entre otras pruebas el análisis de textura de bocadillos expandidos se ha realizado mediante compresión, penetración, procedimientos acústicos y análisis de perfil de textura del producto extruido. Muchos ingredientes tienen un efecto pronunciado en la textura general del producto extruido (Alam et al., 2015).

Generalmente se les atribuye las diferentes texturas a los cambios o al derretimiento del almidón y el cambio en la estructura proteínica siendo este el motivo para generar una amplia gama de texturas de productos. Si la relación entre la estructura celular y la textura si están dentro de los limites se puede tener un producto aceptable (Alam et al., 2015).

Así también el aumento del contenido de fibra produjo extruidos con una estructura más densa de tamaño de celda promedio reducido un mayor número de orificios en la pared de la celda, así como un mayor número de aberturas en la superficie de extruidos. Llegaron a la

conclusión de que el efecto global era una disminución de la expansión radial y un aumento de la densidad aparente (Altan & Maskan, 2012).

2.6.2 Parámetros de calidad subjetivos en el proceso de extrusión.

Los métodos subjetivos requieren que los evaluadores o investigadores individuales expresen sus opiniones sobre los valores cualitativos y cuantitativos de las características de los productos extruidos. Estos métodos consisten en una reacción fisiológica que resulta de las experiencias previas de entrenamiento del individuo la influencia de las preferencias personales y los poderes de percepción. Los métodos subjetivos usualmente involucran percepciones percibidas de la textura el sabor el olor el color y el tacto. Los paneles sensoriales son una forma tradicional de evaluar la calidad de los productos extruidos en el curso del desarrollo del producto (Mínguez Mosquera & Pérez Gálvez, 2005).

2.6.2.1 Evaluación sensorial

El concepto de calidad sensorial es difícil de definir porque no está ligado exclusivamente a características o propiedades intrínsecas del alimento, sino que es el resultado de la interacción entre estas propiedades y el consumidor (Mínguez Mosquera & Pérez Gálvez, 2005).

La evaluación sensorial surge como disciplina para medir la calidad sensorial de los alimentos, conocer la opinión y mejorar la aceptación de los productos por parte del consumidor. Además, la evaluación sensorial no solamente se tiene en cuenta para el mejoramiento y optimización de los productos alimenticios existentes, sino también para realizar investigaciones en la elaboración e innovación de nuevos productos, en el aseguramiento de la calidad y para su promoción y venta (Hernandez-Alarcon, 2005).

2.6.2.2 Aplicación de la evaluación sensorial

El catador y/o el consumidor final, emite un juicio espontáneo de lo que siente hacia una materia prima, producto en proceso o producto terminado, luego expresa la cualidad percibida y por último la intensidad. Entonces si la sensación percibida es buena de agrado o si por el contrario la sensación es mala, el producto no será aceptado, provocando una sensación de desagrado marcando con una numeración la puntuación percibida. Las diferentes percepciones de un producto alimenticio se presentan en la figura 8 (Hernandez-Alarcon, 2005).

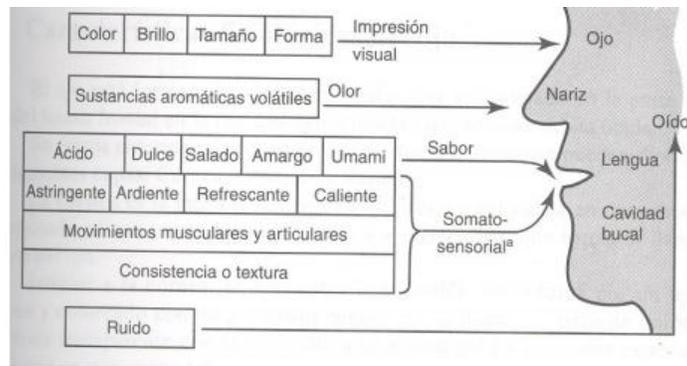


Figura 8 Introducción al Análisis Sensorial de los Alimentos. 2002

2.6.3 Parámetros de calidad objetivos en el proceso de extrusión

2.6.3.1 Textura

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 completa de la textura como la percibe el consumidor y métodos de medición apropiados. La dureza la nitidez y la fragilidad se han utilizado para evaluar las propiedades texturales de los productos extruidos desarrollados a partir de subproductos alimenticios (Ajita & Jha, 2017).

El contenido de humedad juega un papel importante en la textura de los bocadillos listos para comer ya que directamente afecta el comportamiento crujiente factor clave relacionado con su aceptación (Alam et al., 2015).

2.6.3.2 Efectos de los parámetros de extrusión sobre la textura

El contenido de agua es una de las propiedades que forma la textura característica de los productos extruidos cuando la fusión del almidón sale de la matriz del extrusor. A medida que la presión se reduce repentinamente de una presión alta en la extrusora a la presión atmosférica el agua cambia de líquido a vapor. Cuando las burbujas de vapor de agua salen de la fusión del almidón el producto se estira y la matriz se solidifica debido al enfriamiento evaporativo. Las burbujas de aire quedan atrapadas en esta matriz y se forma la estructura hinchada característica. La textura de los productos extruidos depende de la distribución del tamaño de la celda y del grosor de la pared celular. Se han realizado varios estudios para comprender la relación entre la estructura y la textura de los productos extruidos (R. Guy, 2001).

El componente principal que determina la textura del producto extruido es la composición de la mezcla. Muchos ingredientes tienen un efecto pronunciado en la textura general del producto extruido (Alam et al., 2015).

2.6.3.3 Textura descriptiva

La textura descriptiva se define como "la manifestación sensorial y funcional de las propiedades estructurales, mecánicas y superficiales de los alimentos detectados a través de los sentidos de la visión, el oído y la cinestésica. De cada uno de los sentidos involucrados en la generación de atributos de textura, son los sentidos asociados con la kinestésica, el tacto y la presión, los principales contribuyentes a la percepción de la textura(Chen & Rosenthal, 2016).

La evaluación de textura sensorial está íntimamente relacionada con la calidad alimenticia del extruido en condiciones controladas. Es un método cuantitativo en el que se recopilan datos numéricos para establecer una relación específica entre las percepciones resultantes de los sentidos humanos y las características del producto. Los métodos de evaluación sensorial se utilizan para el desarrollo de nuevos productos, modificaciones de ingredientes y procesos, reducción de costos, mantenimiento de la calidad y optimización del producto(Altan & Maskan, 2012).

En la actualidad se están desarrollado numerosos métodos para evaluar la calidad sensorial tanto para fines de investigación como de control de calidad (CC). Idealmente, la relevancia de estas mediciones de calidad sensorial (realizadas por paneles entrenados) para la respuesta probable del consumidor, también debería haberse establecido mediante la realización de estudios de correlación apropiados(Kilcast, 2013).

2.6.3.4 Cuantificación de datos en textura descriptiva

La cuantificación de datos sensoriales nos permite transformar de forma numérica el registro de intenciones percibidas en el análisis. Estos procedimientos deben distinguirse de los sistemas de clasificación de calidad, que se utilizan para clasificar los productos en clases definidas por una combinación de características sensoriales, y que no están abiertos al análisis numérico cuantitativo. Los procedimientos de escala se utilizan principalmente para generar datos numéricos que se pueden manipular y analizar estadísticamente. Los tipos de escala más utilizados se detallan a continuación(Kilcast, 2013).

- a.- Las escalas de categoría usan un número definido de cuadros o categorías (a menudo 5, 7 o 9, aunque a menudo se usan otros números). Los extremos de la escala están definidos por anclajes verbales, y los puntos de escala intermedia a menudo reciben descripciones verbales.
- b.- Las escalas gráficas (escalas de línea) consisten en una línea horizontal o vertical con un número mínimo de anclajes verbales, generalmente en los extremos. Se pueden utilizar otros anclajes, por ejemplo, para definir un punto central o para denotar la posición de una muestra de referencia.
- c.- Las escalas unipolares tienen un cero en un extremo, y se usan con mayor frecuencia en el perfil cuantitativo, especialmente para los atributos de sabor.
- d.- Las escalas bipolares tienen atributos opuestos en cada extremo. La definición del punto central a menudo puede generar dificultades lógicas, al igual que garantizar que los anclajes extremos sean verdaderos opuestos.
- e.- Escalas de relación, en las que la intensidad de una característica sensorial se puntúa como relación frente a una referencia. Se reclaman algunas ventajas frente a las escalas gráficas, y estas se usan a menudo para escalar características extremas (por ejemplo, quema de chile), pero las proporciones resultantes deben pasar por una transformación geométrica para el análisis estadístico.
- f.- Las escalas hedónicas se utilizan para medir el gusto o la aceptabilidad del consumidor. Se suelen utilizar escalas de categoría.
- g.- Las escalas relativas a ideales son un tipo de escala hedónica que mide la desviación de un punto ideal personal.
- h.- Experiencia de panelistas. Los paneles entrenados pueden comenzar con escalas de categoría de 5 o 7 puntos, pero, a medida que aumenta su capacidad de discriminación, pueden usar efectivamente más puntos de escala o escalas gráficas. Cuando se utilizan panelistas inexpertos, a veces se evitan las escalas que incorporan un "punto neutral", como el punto central en una escala de categoría impar para minimizar el riesgo de "sentarse en la cerca".

i.- Número de panelistas. El uso de números pequeños de panelistas con un número bajo de puntos de escala de categoría limitará las opciones de análisis estadístico.

j.- Instalaciones de manejo de datos. Las respuestas de escala de categoría se pueden ingresar relativamente rápido en una hoja de cálculo, mientras que los datos de las escalas de línea deben medirse, y esto puede ser un procedimiento lento. La adquisición de datos computarizada ya sea directamente desde un terminal o tableta, o indirectamente desde lectores ópticos, ahora se usa comúnmente para optimizar el manejo de datos.

(Kilcast, 2013).

2.6.3.5 Textura Instrumental

El análisis instrumental de la textura en los alimentos proporciona indicaciones rápidas y relativamente económicas sobre las características del producto y la aceptación del consumidor. En la literatura científica se han informado intentos de utilizar diferentes métodos de enfoque lo que proporciona perspectivas variadas sobre los atributos de textura de los snacks (Anton & Luciano, 2009).

2.6.3.6 Análisis de perfil de textura

El análisis del perfil de textura se emplea ampliamente en la investigación y la industria debido a su practicidad. Sin embargo, esta propiedad es demasiado complicada para ser descrita por una sola propiedad física; la textura es un atributo de calidad crítico en la selección de alimentos. La manipulación, el procesado de alimentos involucran problemas especiales, ya que el consumidor se ha formado opciones con respecto a la textura (J. Torres, González-Morelo, & Acevedo, 2015)

Para representar el análisis de perfil de textura se utilizan curvas que supervisan y registran los eventos característicos espaciales o temporales de muestras durante las mediciones de textura de alimentos. El TPA configura las características de textura de alimentos sean más predecibles. Obteniendo curvas con las que podemos obtener una simulación del esfuerzo de la mandíbula al morder, dando a conocer el comportamiento del alimento con respecto a la fuerza aplicada. La Figura muestra un ejemplo de una curva típica de este análisis (J. Torres et al., 2015).

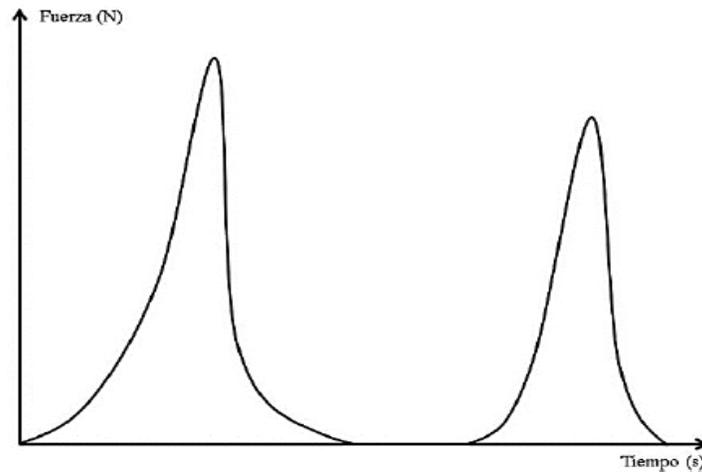


Figura 9 Curva típica del análisis de textura

(Szczesniak 2002)

El análisis que está basado en curvas que controlan y registran los sucesos característicos de muestras durante las mediciones de textura. Obteniendo estas curvas podemos obtener una simulación del esfuerzo que sufre la mandíbula al morder un producto, dando a conocer el comportamiento del alimento con respecto a la fuerza aplicada (J. Torres et al., 2015).

Dentro de los dispositivos para analizar el perfil de textura tenemos dispositivos de perforación o penetración que 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).

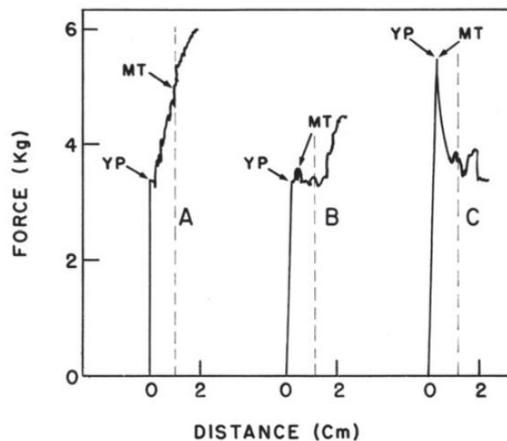


Figura 10 Curvas de fuerza-distancia para pruebas de penetración

Los dispositivos de cizallamiento miden la fuerza necesaria para que una o más cuchillas corten la comida. Se suele suponer que la fuerza máxima mide la tenacidad firmeza o fibrosidad.

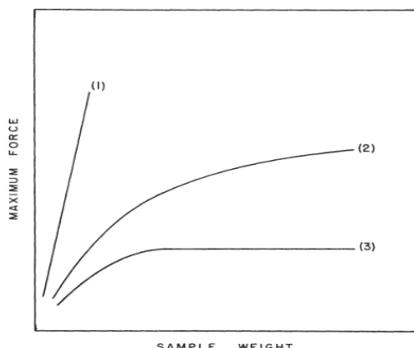


Figura 11 Efecto del peso de la muestra en las lecturas de fuerza máxima con la celda de compresión de corte estándar

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)

Tabla 19 Parámetros de Análisis de Textura

Parámetro	Definición	Determinación	Unidad
Fracturabilidad	Fuerza necesaria para fracturar la muestra	Fuerza en la primera ruptura significativa de la muestra	Newton (N)
Dureza	Fuerza necesaria para llevar a cabo una deformación determinada	Máxima fuerza durante el primer ciclo de compresión	Newton (N)
Adhesividad	Trabajo necesario para superar la fuerza de atracción entre la muestra y una superficie	Área negativa después del primer ciclo de compresión. Representa el trabajo necesario para separar la superficie del equipo y la muestra	Joule (J)

(Torres et al., 2015)

2.6.3.7 Correlación de textura instrumental y descriptiva

La validación de un instrumento para medir algún parámetro de textura solo es posible a través de su grado de correlación con la medición sensorial. Es por eso que a partir de los años 60 se inician con mayor rigor e interés los llamados estudios de correlaciones instrumento-sensoriales con el objetivo de establecer una técnica instrumental predictiva(Tamarit, 2008).

Numerosos artículos se han publicado en relación con los estudios de correlación instrumento-sensorial de la textura de los alimentos, en muchos casos, los resultados obtenidos por autores diferentes empleando el mismo instrumento y para el mismo producto, han sido contradictorios y el coeficiente de correlación calculado ha recorrido el intervalo desde altamente significativo hasta no significativo(Tamarit, 2008).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Caracterización del área de estudio

La presente investigación se realizó en el Instituto de investigaciones agropecuarias, Estación experimental Santa Catalina (INIAP) Departamento de Nutrición y Calidad, ubicada en el sector de Cutuglagua, Cantón Mejía, Provincia Pichincha.

El producto final obtenido fue analizado en el laboratorio de análisis fisicoquímico y microbiológico de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Técnica del Norte.

3.2 Ubicación del experimento

Tabla 20 Ubicación del experimento

PROVINCIA	Pichincha
CANTÓN	Mejía
PARROQUIA	Cutuglagua
ALTITUD	3058 m.s.n.m
LATITUD	00° 22''S
LONGITUD	78° 23''O
HUMEDAD RELATIVA	79 %
PLUVIOSIDAD	1.400 mm anual
TEMPERATURA PROMEDIO	12°C

(INIAP.GOB.EC, 2010)

3.3 Materiales y equipos

3.3.1 Materias primas:

- Gritz maíz amarillo *Zea mays*
- Gritz Chocho *Lupinus mutabilis*
- Gritz Zanahoria blanca *Arracacia xanthorrhiza*

3.2.2 Equipos

- Extrusor de simple tornillo
- Deshidratador de bandejas
- Molino
- Estufa
- Mufla
- Desecador
- Espectrofotómetro
- Centrífuga
- Baño María
- Texturómetro
- Termómetro
- Balanza analítica
- Balanza infrarroja

3.2.3 Materiales

- Recipientes plásticos
- Rebanadora
- Bandejas de acero inoxidable
- Bandejas plásticas
- Tamiz # 10 (2.8mm)
- Probetas
- Tubos de ensayo
- Embudos de vidrio
- Vasos de precipitación
- Cajas Petri

- Crisoles
- Agitadores magnéticos
- Mortero y pistilo
- Selladora
- Calibrador analítico Pie de Rey
- Papel filtro

3.3.2 Metodología

En la investigación se utilizó griz de maíz, chocho y zanahoria blanca que se obtuvieron en el proceso de molienda y tamizado, con una granulometría de 2,8 mm de diámetro, para lograr una mezcla homogénea.

Se utilizó para el análisis estadístico el Diseño Experimental Completamente al Azar con un arreglo factorial $A \times B \times C + 1$, donde A= formulación de la mezcla; B= humedad de la mezcla; C= temperatura de la cámara de extrusión.

Para la experimentación se utilizará un extrusor con las siguientes características:

Tabla 21 Parámetros del extrusor de tornillo simple

PARÁMETROS	UNIDAD	CANTIDAD
Alimentación	kg	3
Velocidad del tornillo sinfín	rpm	300
Velocidad de la cuchilla	rpm	1600
Presión	bares	160-180
Temperatura cámara 1	°C	30-35
Temperatura de cámara 2	°C	88-95
Temperatura de cámara 3	°C	105-140
Diámetro del agujero de dado	mm	2,5
Numero de dados		2

3.3.3 Factores en estudio

Factor A: Formulación de la mezcla.

- **A1:** Maíz (70%) + 15% chocho + 15% zanahoria blanca.
- **A2:** Maíz (80%) + 10% chocho + 10% zanahoria blanca.

Factor B: Humedad de la mezcla.

- **B1:** 15%
- **B2:** 20%

Factor C: Perfil de temperatura de la cámara de extrusión

- **C1:** 110°C
- **C2:** 140C

Factores Constantes

- Diámetro de la boquilla: 2,5cm
- Velocidad del tornillo: 300 rpm
- Alimentación: 1kg

Tabla 22 Tratamientos

TRATAMIENTOS	FACTOR (A) Formulación de la Mezcla	FACTOR (B) Humedad%	FACTOR (C) Temperatura °C de la cámara	SIMBOLOGÍA
T1	A1	B1	C1	A1B1C1
T2	A1	B1	C2	A1B1C2
T3	A1	B2	C1	A1B2C1
T4	A1	B2	C2	A1B2C2
T5	A2	B1	C1	A2B1C1
T6	A2	B1	C2	A2B1C2
T7	A2	B2	C1	A2B2C1
T8	A2	B2	C2	A2B2C2
T9	TESTIGO			

3.3.4 Diseño Experimental

Se utilizo el Diseño Experimental Completo al Azar con un Arreglo factorial A x B x C+1. El número de tratamientos es de 8, con tres repeticiones para cada tratamiento, dando un total de 24 unidades experimentales.

Características del experimento

- Número de Repeticiones: 3
- Tratamientos: 8
- Unidades experimentales: 24

El experimento fue conformado por 24 unidades experimentales, el tamaño de la unidad experimental está conformado por 1kg de la mezcla de grits de maíz, chocho y zanahoria blanca, para la obtención del snack extruido.

Tabla 23 DCA AxBxC+1

Fuentes de variación	G.L.
Total	26
Tratamientos	8
Factor A (Formulación de la mezcla)	1
Factor B (humedad de la mezcla)	1
Factor C (Temperatura de la cámara de extrusión))	1
AB	1
AC	1
BC	1
ABC	1
Testigo vs resto	1
Error experimental	18

3.3.4.1 Análisis funcional

Para esta experimentación se aplicó un análisis de varianza para cada una de las variables de respuesta. Para los tratamientos se realizó la prueba de Tukey al 5% y para factores en los que se detectó significancia estadística se empleó la prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS).

Las variables no paramétricas de aceptabilidad sensorial (color, olor, sabor y textura) fueron analizadas empleando la prueba de Friedman al 5 % mediante el estadístico chi- cuadrado.

3.3.5 Variables evaluadas

3.3.5.1 Análisis fisicoquímico de la materia prima

En la Tabla 24 se observa los diferentes parámetros realizados a las materias primas.

Tabla 24 Métodos analizados en los gritz de maíz, chocho y zanahoria blanca

Parámetros	Método
Humedad	AOAC 930.15
Cenizas	AOAC 923.03
Proteína	AOAC 955.39
Extracto etéreo	AOAC 920.85
Fibra bruta	AOAC 978.10
Carbohidratos	Cálculo
Aminoácidos	MO-LSAIA-26

- **Humedad**

Método

930.15, A.O.A.C.

Fundamento

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

Procedimiento

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

Cálculo

$$\% \text{ Humedad} = \frac{P_{cmh} - P_{cms}}{P_{cmh} - P_c} \times 100 \quad \text{Ec:3.3.4.1-1}$$

Donde:

Pc = Peso del recipiente
Pcmh = Peso del recipiente más muestra húmeda
Pcms = Peso del recipiente más muestra seca

- **Cenizas**

Método

923.03, A.O.A.C.

Fundamento

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

Procedimiento

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

Cálculo

$$\% \text{ Ceniza} = \frac{P_{cz} - P_c}{P_m} \times 100' \quad \text{Ec:3.3.4.1-2}$$

Donde:

Pcz = Peso del crisol más ceniza

Pc = Peso del crisol

Pm = Peso de la muestra

- ❖ **Proteína**

Método 955.39. A.O.A.C.

Fundamento

El nitrógeno de las proteínas y otros compuestos se transforman en sulfato de amonio al ser digeridas en ácido sulfúrico en ebullición, el residuo se enfría, se diluye en agua y se agrega hidróxido de sodio, se procede a destilar. El amoniaco presente se desprende y se recibe en una solución de ácido bórico, que luego se titula con ácido clorhídrico estandarizado.

Procedimiento

Digestión

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

Destilación

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

Titulación

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

Cálculos

$$N\% = \frac{mlH^2SO^4 * N H^2SO^4 * meqN}{g} \times 100 \quad \text{Ec:3.3.4.1-3}$$

Donde:

N%: porcentaje de Nitrógeno

ml H₂SO₄: mililitros de ácido sulfúrico

N H₂SO₄: normalidad de ácido sulfúrico

g: gramos de muestra

$$\text{Proteína \%} = \%N \times 6,25 \quad \text{Ec:3.4.1-4}$$

N% = Contenido de nitrógeno

❖ Extracto etéreo

Método

920.39C, A.O.A.C.

Fundamento

El solvente utilizado se condensa continuamente extrayendo materiales solubles al pasar a través de la muestra. El extracto se recoge en un vaso que al completar el proceso se destila quedando en el vaso el extracto graso de la muestra por medio de la extracción directa SOHXLET.

Procedimiento

- Lavar los vasos de destilación con agua destilada y llevar a la estufa a 105°C por 2 horas, retirar los vasos en un desecador, enfriar, pesar, y añadir 200 ml de hexano.
- Pesar de 1 a 2 gramos de muestra, mezclar con 2 a 3 gramos de sulfato de sodio anhidro, colocar en un cartucho limpio y tapar con algodón.
- Depositar el cartucho con la muestra dentro del dedal de vidrio y colocar dentro del vaso con hexano, montar el equipo Soxhlet, abrir la llave de agua fría para el refrigerante, extraer la grasa por 4 horas.
- Secar el vaso de destilación con el residuo en una estufa a 105° C por 7 horas retirarlos de la estufa en un desecador, se enfría y se pesa.

Cálculo

$$\text{Extracto Etéreo \%} = \frac{Pvr - Pv}{Pm} \times 100 \quad \text{Ec:3.3.4.1-5}$$

Donde:

EE = Extracto etéreo (%)

Pv = Peso del vaso tarado

Pvr = Peso del vaso más residuo

Pm = Peso de la muestra

• Fibra bruta

Método 978.10, A.O.A.C.

Fundamento

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

Procedimiento

- Para iniciar se procede a un proceso previo de secado a la muestra en una estufa a 70°C. - Se pesa 2g de muestra y en un matraz se añade 200ml de ácido sulfúrico a 0.25 y gotas antiespumantes.
- Se somete a ebullición durante 30 min en el condensador, rotando constantemente.
- Se filtra el contenido resultante a través de un embudo Büchner y se lava con 75 ml de agua hirviendo repitiendo el proceso por tres veces.
- Se retorna el residuo al desecador y se calienta por tres min, rotando el matraz periódicamente. Se repite el proceso de lavado, con 25 ml de ácido sulfúrico con tres repeticiones y 25 ml de etanol al 95%.
- Se transfiere el residuo al crisol y se seca en la estufa a 130°C por dos horas. Se enfría en un desecador para registrar su peso.

Cálculo

$$\% \text{ Fibra} = \frac{A-B}{C} \times 100 \quad \text{Ec:3.3.4.1-6}$$

Donde:

A = Peso del crisol con el residuo seco

B = Peso del crisol con la ceniza

C = Peso de la muestra

• Carbohidratos

El contenido de carbohidratos de un alimento se determina mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ C. T} = 100 - (\% \text{ Humedad} + \% \text{ Proteína} + \% \text{ Extracto Etéreo} + \% \text{ Cenizas}) \quad \text{Ec:3.3.4.1-7}$$

• Almidón

Método

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

Fundamento

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

Procedimiento

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

Cálculo

$$\% \text{ Almidón} = (a - b) f$$

Ec:3.3.4.1-8

Donde:

a = ángulo de rotación de la muestra, en grados

b = ángulo de rotación del blanco, en grados

f = factor del almidón

❖ Amilosa

Fundamento

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

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

Procedimiento

- Pesar 100 mg de muestra en balones de 100 ml
- Agregar 1 ml de etanol al 95 % agitar y añadir 9 ml de NaOH 1 N, evitando que la muestra se pegue a las paredes del balón. Permitir que la gelatinización suceda a temperatura ambiente, durante 24 horas, sin agitación.
- Aforar a 100 ml con agua destilada.
- Tomar 2.5 ml en balones volumétricos de 50 ml con 30 ml de agua.
- Colocar 0.5 ml de ácido acético 1N y 1 ml de solución de yodo al 2 %

- Agitar, aforar y dejar en reposo a temperatura ambiente, en la oscuridad por 30 min.
- Pasar la muestra a las celdas del colorímetro y leer a 620 nm.

- **Amilopectina**

El contenido de amilopectina se obtiene aplicando la siguiente ecuación. Ec:3.3.4.1-9

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

3.3.5.2 Análisis fisicoquímicos y funcionales al producto terminado

En el producto extruido se determinó variables cuantitativas tales como: fisicoquímicas, funcionales e instrumentales detalladas en las tablas 25,26.

➤ **Análisis de Propiedades fisicoquímicas**

Tabla 25 Métodos analizados al producto extruido

Parámetros	Método
Humedad	AOAC 930.15
Cenizas	AOAC 923.03
Proteína	AOC 920.87
Extracto etéreo	AOAC 930.09
Fibra bruta	AOAC 978.10
Carbohidratos	Cálculo

➤ **Análisis de Propiedades Funcionales**

Tabla 26. Propiedades funcionales del producto extruido

Parámetros	Método
Índice de expansión	Cálculo
Densidad aparente	Cálculo
Índice de absorción de agua	Método de Anderson
Índice de solubilidad de agua	Método de Anderson
Digestibilidad de la proteína	AOC 920.87

❖ Índice de expansión

Controla la relación existente entre la densidad aparente y la expansión del producto extruido. Después de haber realizado el proceso de extrusión se midió el diámetro del material extruido utilizando calibradores digitales en 50 muestras. La relación de expansión se calculó dividiendo el área de la sección transversal del extruido con el área de la matriz.

Cálculo

$$IE = \frac{\text{Área transversal del extruido}}{\text{diámetro de la boquilla}} \text{ mm} \quad \text{Ec:3.3.4.2-1}$$

❖ Densidad aparente

Fundamento

Es un índice de los cambios estructurales que ocurre en el material que rige la expansión, es decir que la relación amilosa/amilopectina del almidón presente en la materia prima. Se medirá el diámetro y longitud a cada muestra. Posteriormente se pesa cada extruido, para finalmente determinar la densidad.

Cálculo

$$DA = \frac{\text{Peso muestra}}{\pi \left(\frac{\text{diámetro muestra}}{2} \right)^2 \text{Longitud muestra}} \frac{g}{\text{cm}^3} \quad \text{Ec:3.3.4.2-2}$$

❖ Índice de solubilidad de agua (ISA) e Índice de absorción de agua (IAA)

Fundamento

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

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

Procedimiento

- Tarar las cajas petri a 90°C por 4 horas o a 75°C por una noche.
- Pesar 2.5 g de muestra en un tubo de centrífuga que contiene un agitador magnético.
- Mientras se pesa las muestras, calentar 30 ml de agua destilada, a 30°C y también tener el equipo de baño maría a temperatura controlada de 30°C.
- Agregar 30 ml de agua a cada tubo y agitar bien en el equipo de agitación.
- Incubar en el baño con agitación durante 30 minutos. Secar bien los tubos.-
- Centrifugar a 5000 rpm, durante 20 minutos.
- Después de centrifugar se deben tener separados el gel y el sobrenadante.
- Decantar el sobrenadante en un tubo de centrífuga graduado y medir el volumen. No descartar el gel del tubo.
- Filtrar el sobrenadante y descartar lo que queda en el papel filtro.
- Tomar 10 ml del filtrado y secar por 4 horas a 90°C en las cajas petri.
- Pesar el gel que quedó en el tubo.

Cálculos

$$IAA = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)}} \times 100 \quad \text{Ec:3.3.4.2-3}$$

$$ISA = \frac{\text{Peso de solubles (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)}} \times 100 \quad \text{Ec:3.3.4.2-4}$$

❖ Digestibilidad de la Proteína

La digestibilidad proteica es un indicador de la calidad de las proteínas del producto extruido, se utilizó el método de Rudlof y Lönnerdal

Procedimiento

- Se pesa 100 mg de muestra seca y desgrasada
- Seguidamente se procede a incubar 20 ml de HCl 0,1 N y 1,5 mg de pepsina a 37°C/3 h y neutralizar con 10 ml de NaOH 0,2 N.
- Se añade 40 mg de pancreatina en 7,5 ml de buffer fosfato (pH = 8) y se incubó a 37°C/24h, posteriormente se añade 700 ml de ácido tricloroacético 80%.

- Centrifugamos durante 10 min. Al sedimento se le adiciona 30 ml de H₂O, se filtra y deshidrata a 45°C/24 h. Al residuo deshidratado y a la muestra inicial se le determina el contenido de proteínas (micro Kjeldahl). El PDPV se calcula mediante la ecuación:

$$\text{DPIV} = \frac{\text{proteína de la muestra} - \text{proteína en el residuo}}{\text{proteína de la muestra}} \times 100 \quad \text{Ec:3.3.4.2-4}$$

- **Perfil de aminoácidos**

Método de extracción: Watanabe., T. 1988. Fish Nutrition and Mariculture. Adaptado en “Analytical Laboratories UBA”.

Procedimiento:

- Pesar 3 ± 0,7 mg de muestra, por duplicado dentro de ampula para digestión acida o básica.
- Añadir 0.5 ml de la solución de HCl - fenol, y realizar una digestión la muestra a 110 °C de 16 a 22 horas.
- Enfriar, y tamponar a pH aproximado de 2.2
- Homogenizar, centrifugar y filtrar (0.20 µm)
- Adicionar en vial ámbar muestra y reactivos de Pre-derivatización OPA-Metanol)
- Analizar mediante HPLC-FLP (High performance Liquid Chromatography-Fluorescence Detector)
- Para fines de interpretación, comparación con solución estándar: AMINO ACIDS ESTANDAR FOR FLUORESCENCE (Sigma-Aldrich) A2161.

➤ **Análisis del Perfil de Textura Instrumental**

Tabla 27. Análisis de Textura Instrumental realizado al producto extruido

Propiedades	Método
Dureza	Texturómetro Shimadzu EZ-SX carga max. 50N
Crujencia	Texturómetro Shimadzu EZ-SX carga max. 50N
Resistencia a la ruptura	Texturómetro Shimadzu EZ-SX carga max. 50N

- **Análisis de dureza en el producto extruido**

Para el análisis de textura instrumental se trabajó con un texturómetro Shimadzu EZ-SX de carga max. 50N, utilizando una sonda de corte en “V”, con un diámetro de 25 mm, velocidad de ensayo de 100 mm / min y compresión de 40% de la altura de la muestra.

La fuerza necesaria para comprimir el 40% de la altura de la muestra se midió en Newtons.

- **Crujencia**

El número de células de aire se correlacionan con la crujencia de un alimento. La crujencia de un producto puede ser identificada por el número de picos registrados en las sondas del texturómetro. Esto está relacionado con la ruptura de las paredes celulares dentro del producto.

$$\chi^2 = \text{Chi} - \text{Cuadrado}$$

$$\sum R^2 = \text{Sumatoria de rangos al cuadrado}$$

Ec:3.3.4.2-5

$$r = \text{Numero de catadores}$$

$$t = \text{Tratamientos}$$

- **Resistencia a la ruptura**

Se utilizó el texturómetro antes mencionado, con una cuchilla de cizallamiento Warner-Bratzler y una sonda en forma de “V”, a una velocidad de 100 mm/min. El corte se lo realizó perpendicularmente al eje principal del snack hasta romperlo. La fuerza de ruptura obtenida se expresó en Newtons.

3.3.5.3 Aceptabilidad sensorial

Para evaluar las propiedades organolépticas del producto extruido se utilizó un grupo de 30 panelistas al azar. Donde se evaluó los atributos de: color, olor, sabor y textura. Para ello se utilizó una plantilla, con la información que se desea conocer donde denotan los atributos antes mencionados (Anexo 5).

Los resultados se someterán a la prueba de Friedman y con la información de los datos obtenidos, se aplicó el estadístico de prueba (Chi cuadrado) mediante la siguiente ecuación:

Donde

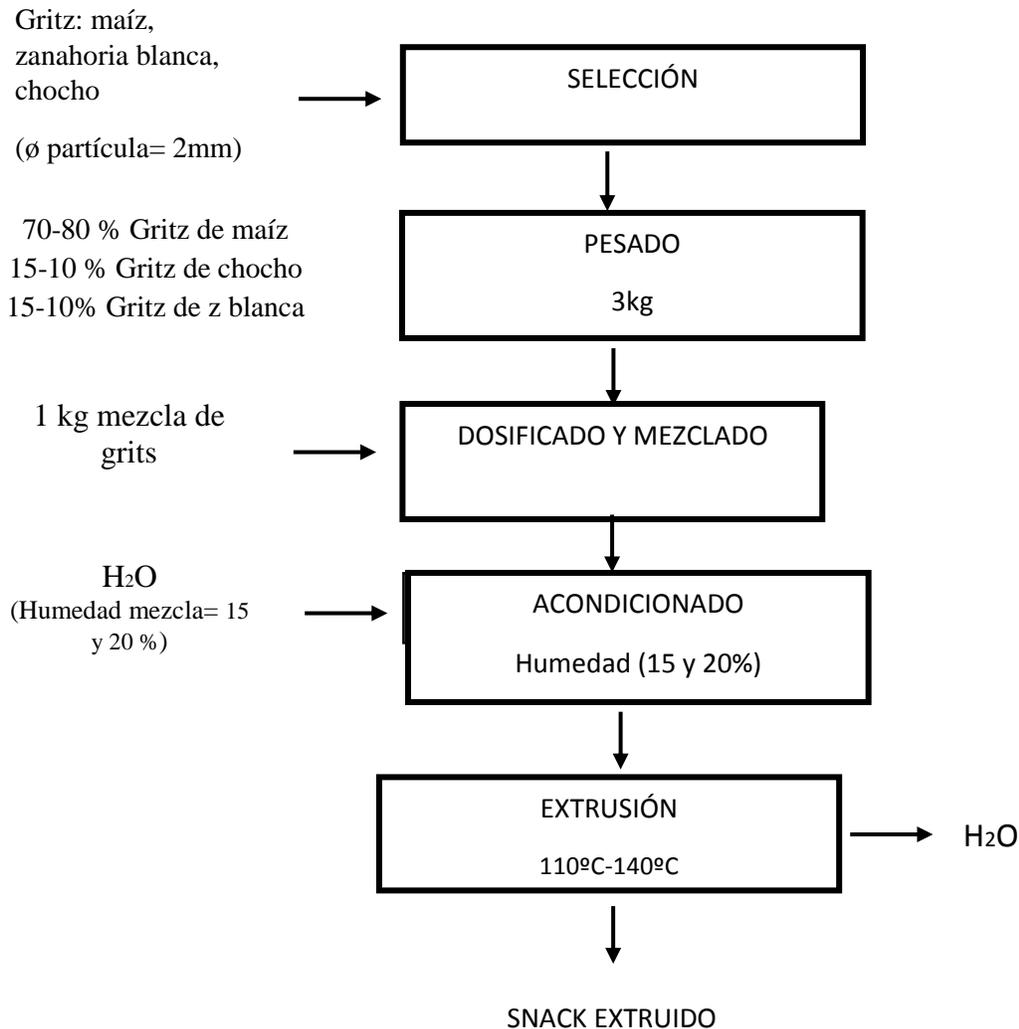
$$x^2 = \frac{12}{rt(t+1)} * \pi \sum R^2 - 3r(t+1) \quad \text{Ec:3.3.4.2-6}$$

3.3.5.4 Análisis de evaluación sensorial de textura descriptiva

El análisis para evaluar la textura descriptiva de los productos extruidos se realizó con un panel semi-entrenado del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Donde se evaluó los atributos de: dureza, crujencia, fracturabilidad y adherencia. Para ello se utilizó un protocolo de capacitación.

3.3.6 Análisis Específico del Experimento

Diagrama de bloques para la elaboración de un snack extruido



Descripción del proceso de elaboración del Snack por extrusión

- **Selección de las materias primas.** - Se selecciono los grits de maíz, chocho y zanahoria blanca obtenidos previamente mediante un proceso de clasificación, limpieza, deshidratado, molienda y posterior tamizado obteniendo una granulometría de 3 mm. Una vez recolectadas las muestras se procederá a limpiar para separar las impurezas y evitar la contaminación durante el desarrollo del experimento.



Figura 12• Selección de las materias primas

- **Pesado.** – Se pesaron las muestras en una balanza analítica para que todas las unidades experimentales sean uniformes.



Figura 13• Pesado

- **Mezclado y acondicionamiento.** - Posteriormente, se mezclan los griz de maíz, chocho y zanahoria blanca, y se acondiciona hasta obtener una mezcla con una humedad de 15 y 20 % para ingresar al proceso de extrusión de acuerdo con las formulaciones establecidas.



Figura 14 Mezclado y acondicionamiento

Cálculo

$$P1(\%H1) + P2(\%H2) + P3(\%H3) = PT (Hx) \quad \text{Ec:3.3.5-1}$$

Donde:

P1, P2, P3= Peso de las materias primas

%H1, %H2, %H3= Porcentaje de humedad inicial de las muestras

PT= Peso total de la mezcla

Hx= Humedad final

- **Extrusión.** -, Se ingreso los gritz acondicionados, el proceso se realizó a velocidad de tornillo de 300 rpm, lo cual permitió que la mezcla sea sometida a temperaturas de 110°C y 140°C, donde mediante la alta presión saldrá el producto por una abertura o boquilla de 2 mm con un diseño específico.



Figura 15• Extrusión

- **Almacenamiento.** - Se almacena el producto terminado a temperatura ambiente (15 a 20°C)



Figura 16• Almacenamiento

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIONES

En la presente investigación se utilizaron griz de maíz duro, chocho y zanahoria blanca con un tamaño de partícula de 2,80 mm de diámetro. Las materias primas fueron sometidas a deshidratación para realizar una posterior molienda y tamizado hasta cumplir con los requerimientos de funcionamiento del extrusor destinado para la obtención de snacks expandidos.

El proceso de extrusion de los snacks expandidos fue realizado en un extrusor de un tornillo, el mismo que tiene las siguientes características técnicas:

Tabla 28 condiciones del proceso de extrusion

PARÁMETROS	UNIDAD	CANTIDAD
Alimentación	Kg	3
Velocidad del tornillo sinfín	rpm	300
Velocidad de la cuchilla	rpm	1600
Presión a la matriz	bar	160-180
Temperatura-cámara 1	°C	30-35
Temperatura-cámara 2	°C	88-95
Temperatura cámara 3	°C	105-140
Diámetro de boquilla	mm	2,5

Laboratorio del Departamento de Nutrición (Santa Catalina -INIAP, 2017)

4.1 Caracterización del extrusor

Se realizó la caracterización del extrusor para tener una mejor visión de los componentes determinantes en la calidad del producto final enfatizando principalmente en el tornillo siendo este el que nos brinda las características finales del snack extruido.

4.1.1 Caracterización del barril



Figura 17 Caracterización del barril (INIAP, 2019)

4.1.2 Caracterización del tornillo



Figura 18 Caracterización del tornillo (INIAP, 2019)

S	Ancho del filete	Es el ancho del filete del tornillo medido perpendicularmente a la cara del filete
P	Paso o ancho del canal	Distancia horizontal entre los centros de dos filetes consecutivo. P1:ancho del filete en sección de alimentación P2:ancho del filete en sección de cocción.
LS	Largo del filete	Es el largo del filete del tornillo midiendo la cara del filete
DS	Diámetro	Distancia máxima entre los topes de los filetes del tornillo
H	Profundidad del canal	Distancia perpendicular desde el tope del filete hasta la superficie del canal
D	Diámetro la raíz	Distancia máxima entre los topes de los filetes del tornillo menos en ancho del filete

4.2 Caracterizaciones fisicoquímicas de las materias primas

Las materias primas acondicionadas a una humedad de 15 y 20% en base húmeda, fueron sometidos a análisis fisicoquímicos de contenidos de humedad, cenizas, proteína, lípidos, carbohidratos, fibra y almidón. Estos análisis permitieron analizar los contenidos fisicoquímicos y nutricionales iniciales para proceder a la formulación de las mezclas.

Tabla 29. Tabla composición nutricional de (maíz, zanahoria blanca y chocho).

PARÁMETROS	UNIDAD	GRITZ DE MAÍZ	GRITZ DE ZANAHORIA BLANCA	GRITZ DE CHOCHO
Humedad	%	12,42	6,74	9,16
Cenizas	%	0,63	3,43	1,73
Proteína	%	9,42	4,73	41,2
Extracto etéreo	%	2,09	0,6	16,34
Fibra bruta	%	0,89	2,99	10,46
Carbohidratos	%	75,44	84,5	31,57
Almidón	%	72,68	76,2	13,30
Amilosa	%	21,04	13,39	27,77
Amilopectina	%	78,96	86,61	72,23

Laboratorio del Departamento de Nutrición (Santa Catalina -INIAP)

En la tabla 29 se indica la composición química de los gritz de maíz, chocho y zanahoria blanca utilizados en la investigación, la cual fue analizados en el Laboratorio de Análisis Físicos, Químico y Microbiológicos (FICAYA – UTN). La humedad del Maíz (12,42), Chocho (9,16) y Zanahoria blanca (6,74) se encuentran dentro de los rangos establecidos en la norma **INEN 2 051:1995.: Granos y cereales. Maíz molido, sémola, harina, gritz.**

Los análisis de cenizas en las muestras de maíz, zanahoria blanca y chocho registran 0,63%, 3,43% y 1,73%, respectivamente, donde la zanahoria blanca tiene mayor contenido de cenizas con relación a las demás materias primas, las cuales se encuentran dentro de los rangos establecidos por el Codex Alimentario, 2012 para cereales, legumbres, leguminosas y productos proteicos vegetales.

Los gritz de maíz reportaron valores de 9,42 % proteína ,2,09% de lípidos y 0,89% de fibra bruta concordando con los resultados de (Villafuerte, Obispo, Santos T, & Macavilca, 2015) en proteína y fibra bruta con contenidos de 0,83% y 11,81% respectivamente aunque por el

contrario en su investigación se obtuvo valores de lípidos del 26,52 % debido a su aporte de calamar dentro de su composición discrepando con los resultados de lípidos (2,09%) obtenidos en esta investigación.

En su investigación (Guido, 2006) señala que el grano de chocho es rico en proteínas(44,3%), grasa (16,5%) y fibra de 7,41%, valores donde estos valores son similares a este estudio con una variación mínima tales como 41,2% de proteína 16,34% de grasa y 10,46% de fibra bruta.

Los resultados obtenidos en zanahoria blanca reportaron contenidos de 4,73% proteínas 0,6% lípidos y 2,99% fibra discrepando con (Sanchez, 2015) que afirma que la arracacha o zanahoria blanca tiene un contenido de proteína 1% proteína 0,1% lípidos y 0,7% fibra debiéndose principalmente a zonas y manejo de cultivos.

Además R. Guy, (2001) reconoce que el almidón, es el componente predominante de los cereales y tubérculos, ya que afecta al grado de expansión. El contenido de almidón determinado en el maíz, zanahoria blanca chocho fue 72,68 %, 76,20 % y 13,30%, respectivamente (Tabla 29). Sin embargo, la relación de contenido de amilosa y amilopectina son determinantes en la extrusión, como afirma C. Pérez-Navarrete, R. H. Cruz, Estrada, L. Chel-Guerrero, (2006), los cambios estructurales que ocurren en el material que gobierna la expansión, amilosa/amilopectina presente en la materia prima, modificaran el gránulo a nivel ultra molecular. La tabla 5 caracterización de almidón de maíz muestra el contenido de amilosa (25%) y amilopectina (75%) siendo estos óptimos para el proceso de extrusión.

La zanahoria blanca contiene 3,43 % de cenizas de similar con los datos obtenidos por (Espín et al., 2004) que obtuvieron concentraciones de 5,18%, estos autores comentan que al contener altos contenidos de cenizas y al mismo tiempo presentan bajos contenidos de sodio (Na), puede ser aprovechado para dietas de personas con problemas de hipertensión que requieren alimentos ricos en potasio . Por otro lado es una materia prima destacando por la calidad de su almidón siendo este de una alta y fácil digestibilidad por contener una baja concentración de amilosa(Huamán et al., 2013).

El contenido de humedad, grasa, proteína, fibra y carbohidratos totales, influyen en las características y propiedades finales de la masa que fluye dentro del extrusor (Martinez,

2012). De acuerdo a BeMiller & Whistler (2009), el almidón en los cereales afecta directamente al grado del producto.

4.3 Determinación de las características fisicoquímicas de las mezclas.

Tabla 30 Composición nutricional de las mezclas en base seca de (maíz, zanahoria blanca y chocho).

Parámetros	Unidad	MEZCLA 1 70%Maíz 15%Chocho 15%Z. Blanca	MEZCLA 2 80%Maíz 10%Chocho 10%Z. Blanca
Humedad	%	11,08	11,53
Proteína	%	13,48	12,13
Extracto etéreo	%	4,00	3,36
Cenizas	%	1,22	1,02
Carbohidratos	%	70,22	71,96
Fibra bruta	%	2,64	1,82

Laboratorio del Departamento de Nutrición (Santa Catalina -INIAP)

Según la norma “Mezclas Alimenticias” NTE INEN:3084 (2015)” afirma que una mezcla es obtenida a partir de la combinación de dos o más materias primas. La mezcla homogénea facilita el aprovechamiento de los nutrientes, como el chocho y la zanahoria blanca con aporte de proteína y almidones resistentes

El maíz nos ayuda a la expansión en el producto final gracias a su contenido de amilopectina. Por ello se selecciona los componentes de una mezcla adecuada para el proceso de extrusión (Lassa, 2008).

En la tabla 30 se muestra el análisis fisicoquímico realizado a las respectivas mezclas elaboradas a partir de Gritz de maíz, chocho y zanahoria blanca donde se encontró un aumento en el contenido nutricional, debido a la complementación a las materias primas.

El chocho es un alimento rico en el aminoácidos esenciales como la lisina; sin embargo, tiene desventajas al no poseer todos los aminoácidos en las cantidades adecuadas, al tener una deficiente concentración de metionina, por esta razón, al ingerir simultáneamente

mezclas de alimentos de origen vegetal, como cereales y leguminosas (Cadena Maldonado & Yáñez Sotomayor, 2010).

Por ello se complementó el valor biológico de la mezcla 1 (70% maíz- 15% zanahoria blanca- 15 % chocho) y la mezcla 2 (80% maíz- 10% zanahoria blanca-10 % chocho) teniendo en cuenta al maíz un producto con una alta concentración de almidones. Por otro lado, carece de lisina como se puede observar en la **Tabla 30**, Por esta razón se utilizó el chocho y la zanahoria blanca descritos en las **Tabla 9** y **13** como fuentes de este aminoácido con aportes de 331mg/g de nitrógeno y un 237mg/g de nitrógeno respectivamente.

Por otra parte, el chocho es deficiente en metionina +cistina, así el maíz con un aporte de 217mg/g de nitrógeno y la zanahoria blanca de 203 mg/g de nitrógeno complementan la deficiencia en esta materia prima, no obstante, la zanahoria blanca es deficiente histidina por esta razón se mejoró su valor biológico utilizando un aporte del maíz de 170mg/g de nitrógeno y de chocho con un 163mg/g de nitrógeno.

(Mancero, 2018) afirma que las leguminosas son pobres en aminoácidos azufrados (metionina + cistina) mientras los cereales como (el trigo, el arroz y el maíz) son pobres en lisina (el maíz también es pobre en triptófano). La mezcla de cereales y leguminosas, en proporciones correctas, permite obtener proteínas de alta calidad aminoacídica, semejante a las de origen animal.

4.4 Variables Físico Químicas Evaluadas en el Producto Extruido

El análisis de varianza (**Tabla 31**) de las propiedades fisicoquímicas tales como: humedad, cenizas, proteína, grasa, fibra e hidratos de carbono, determina que los factores **A** (tipo de mezcla), **B** (humedad de la mezcla) y **C** (temperatura de extrusión), así como la interacción **BC** (humedad de la mezcla - temperatura de extrusión), fueron altamente significativos ($p \leq 0.01$).

Mientras, La interacción **AB** (formulación de la mezcla vs humedad de la mezcla) reporto tener diferencia altamente significativa en las variables de humedad, proteínas, grasa, fibra con una significancia de ($p \leq 0.01$). sin embargo, la variable carbohidratos no tiene significancia estadística.

Así también, la interacción **AC** (formulación de la mezcla vs temperatura de extrusión) evidencio tener una diferencia altamente significativa en las variables de Humedad, Proteína, Fibra, Cenizas, Carbohidratos con una significancia de ($p \leq 0.01$). Por lo tanto, la variable lípidos no tiene diferencia significativa esto se debe a las características de los lípidos ya que pueden eliminarse en la extrusión por medio de las altas temperaturas.

Por otro lado, en la interacción **BC**(humedad de la mezcla - temperatura de extrusión), se obtuvo valores con una alta diferencia significativa en todas las variables estudiadas.

Los tratamientos reportaron variaciones altamente significativas en todas las variables fisicoquímicas por lo tanto se procedió a realizar una prueba de tukey ($\alpha \leq 0.01$).

Tabla 31 Valores de las variables Físico Químicas estudiadas

FV	Humedad	Proteína	Grasa	Fibra	Cenizas	Carbohidratos
	F-valor	F-valor	F-valor	F-valor	F-valor	F-valor
Tratamientos	463,300**	2497,64**	69,86**	804,87**	316,54**	1153,12**
A	11,65**	5435,52**	39,69**	453,57**	238,27**	718,82**
B	2438,32**	1081,42**	119,09**	1704,92**	95,33**	2771,17**
C	20,75**	11,15**	46,52**	317,56**	72,97**	19,53**
AB	159,81**	1153,08**	181,68**	1270,23**	142,99**	4,29 n.s
AC	74,06**	453,12**	3,23 n.s	127,70**	104,07**	20,04**
BC	141,07**	144,97**	29,45**	1239,44**	89,4**	48,47**
ABC	111,62**	400,15**	29,51**	83,31**	0,16 n.s	3,39 n. s
Test vs resto	749,10**	11301,67*	636,31**	1242,24**	1789,47**	5639,22**
CV (%)	1,82	0,69	11,39	2,40	1,81	0,28

FV: Fuentes de Variación; F-valor: valor de prueba estadística F calculada; **: Altamente significativo; *: Significativo; ns: no significativo; CV (%): Coeficiente de Variación.

En la **Tabla 32** se describen el análisis de Tukey de las variables fisicoquímicas donde se puede observar los rangos mayores obtenidos para las variables de humedad, cenizas, fibra,

grasa y carbohidratos, donde se puede apreciar que los tratamientos y los factores obtuvieron una alta significancia en todas las variables por otra parte en la interacción AB(formulación de la mezcla-humedad de mezcla) y la interacción AC(formulación de la mezcla vs temperatura de extrusión) fueron no significativas en el experimento.

Tabla 32 Análisis de tukey de las Variables Físico Químicas Evaluadas en el Producto.

La tabla 32 presenta las variables analizadas por medio de la prueba de tukey explicadas posteriormente en cada variable.

Resultados de las Variables Físico Químicas Evaluadas en el Producto.						
Trat.	Variabes					
	Humedad	Proteína	Grasa	Fibra	Cenizas	Carbohidratos
T1	6,83±0,06 ^d	14,49±0,11 ^c	2,05±0,03 ^d	0,57±0,02 ^f	1,11±0,03 ^b	74,95±0,17 ^d
T2	6,35±0,08 ^c	14,78±0,04 ^c	0,77±0,19 ^{ab}	0,79±0,01 ^e	1,06±0,00 ^c	77,31±0,31 ^c
T3	7,29±0,30 ^e	18,32±0,02 ^a	1,17±0,03 ^{bc}	1,76±0,04 ^a	1,06±0,01 ^c	70,4±0,31 ^f
T4	9,2±0,02 ^f	16,13±0,13 ^b	1,31±0,07 ^c	1,38±0,03 ^b	1,14±0,04 ^{ab}	70,84±0,10 ^f
T5	6,11±0,10 ^{bc}	12,9±0,06 ^e	1,1±0,04 ^{bc}	1,25±0,02 ^c	1,16±0,01 ^a	77,48±0,10 ^b
T6	5,92±0,04 ^b	13,29±0,03 ^d	0,77±0,22 ^{ab}	1,43±0,03 ^b	0,96±0,01 ^d	77,63±0,27 ^b
T7	9,56±0,01 ^f	12,55±0,03 ^f	2,71±0,32 ^e	1,83±0,03 ^a	0,93±0,01 ^d	72,42±0,29 ^e
T8	9,41±0,01 ^f	13,55±0,04 ^d	2,38±0,20 ^{de}	0,98±0,05 ^d	0,87±0,01 ^e	72,81±0,15 ^e
Testigo	5,42±0,23 ^a	8,32±0,21 ^g	0,5±0,06 ^a	0,64±0,01 ^f	0,57±0,01 ^f	84,55±0,03 ^a
CV	1,82	0,69	11,39	2,40	1,81	0,28

4.4.1 Contenido de Humedad

El agua necesaria utilizada para la cocción de las mezclas fue obtenida a partir de la materia prima y la sección de alimentación; así pues el contenido total de humedad dentro del extrusor está en intervalos de 16% - 20%. El porcentaje de humedad en la masa afecta significativamente la viscosidad aparente, la expansión y la resistencia a la rotura del producto extruido. Por ello se alcanza índices de absorción y de solubilidad de agua más bajos de humedad, hecho que se atribuye a la modificación del almidón(R. Guy, 2001).

Los valores de humedad (**Figura 19**) se muestran en rangos desde 5,42 % hasta 9,56 % encontrándose valores normales obtenidos a la salida del extrusor, esto se debe a la

evaporación provocada por la diferencia de presiones de la cámara de extrusión y Cerón-fernandez, Guerra-morcillo, & Legarda-, (2016) en su investigación encontraron valores de humedad que se encuentran desde de $4,94 \pm 0,11$ hasta $5,11 \pm 0,11$ dependiendo de la preparación, humectación, alimentación y funcionamiento del extrusor. Esto se debe principalmente al contenido de amilopectina por sus características de absorción de agua (Riaz & Rokey, 2015). Por esta razón se producen mezclas con mayor contenido de humedad.

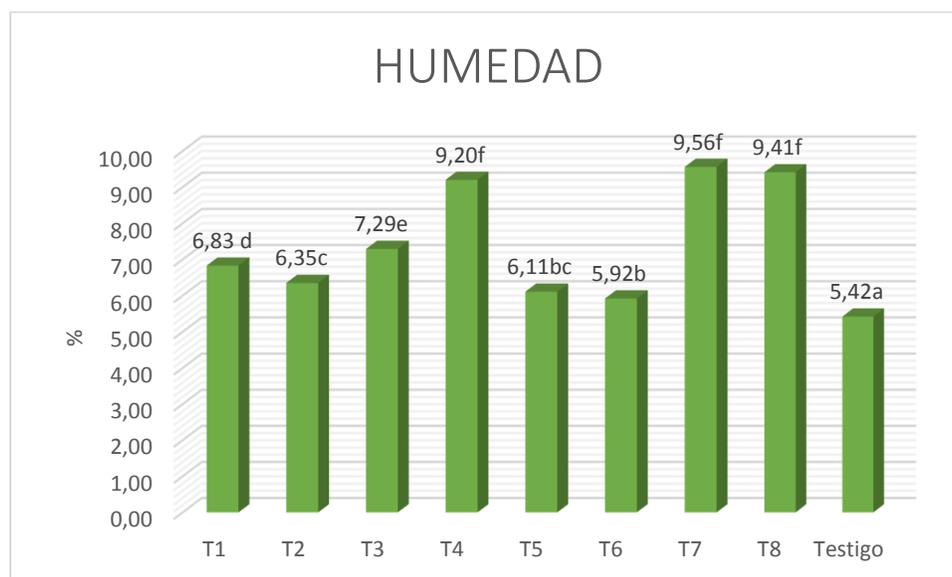


Figura 19 Humedad del Producto Extruido (%)

En el análisis de varianza (**Tabla 31**) manifiesta que todos los factores y las interacciones influyen significativamente sobre la humedad obtenida en el producto final.

El testigo (100% maíz) y el T6 (80% maíz +10% chocho +10% zanahoria blanca) 15% de humedad y una temperatura de extrusión de 140°C (figura 12) reportaron valores bajos de humedad con características óptimas para la extrusión. Ramachandra & Thejaswini, (2015) afirma que productos extruidos con alta humedad, reducen la expansión provocando productos densos y duros. Así mismo Obradović et al., (2014) considera que la mejor expansión fue realizada a baja humedad y alta temperatura del barril.

La prueba de significancia de Tukey al 5% (Tabla 32) menciona que los mejores tratamientos fueron el testigo ocupando un rango "a" y el T6 (80% maíz +10% chocho +10% zanahoria

blanca) obteniendo un rango “b” con valores de humedad de 5,42% y 5,92% respectivamente.

Por el contrario, los tratamientos T7(80% maíz +10% chocho +10% zanahoria blanca) 20% humedad y 110°C y el tratamiento T8(80% maíz +10% chocho +10% zanahoria blanca) 20% humedad y 140°C contaron con los más altos porcentajes de humedad obteniendo los rangos “f” con valores de humedad de 9,56% y 9,41% respectivamente.

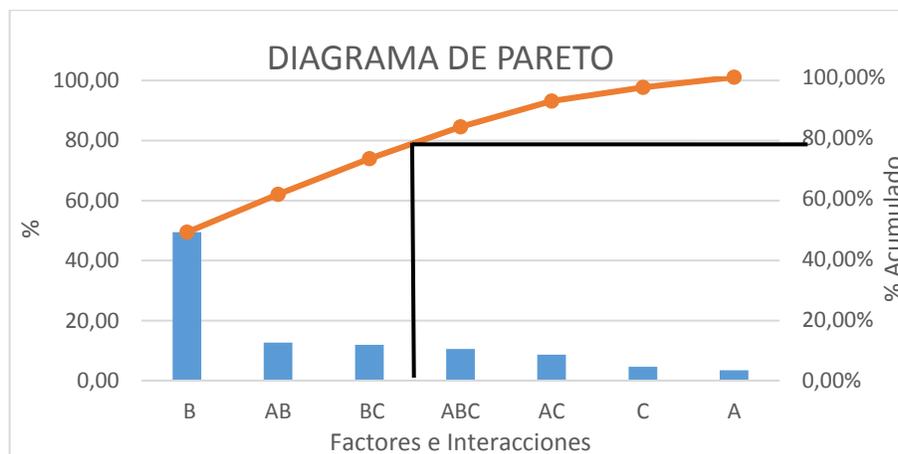


Figura 20 Diagrama de Pareto para Humedad

El diagrama de Pareto muestra los factores y las interacciones más influyentes en el variable de humedad el factor B (% de humedad añadida) la interacción AB (formulación de la mezcla vs humedad de la mezcla) y la interacción BC (humedad de la mezcla - temperatura de extrusión).

Jin, (2018) afirma que los gránulos de almidón al calentarse en exceso de agua se gelatinizan en tres etapas distintas la hinchazón de los gránulos, la ruptura de las estructuras ordenadas (cristalinas y moleculares) y la solubilización de las moléculas de almidón produciéndose así la gelatinización de los almidones.

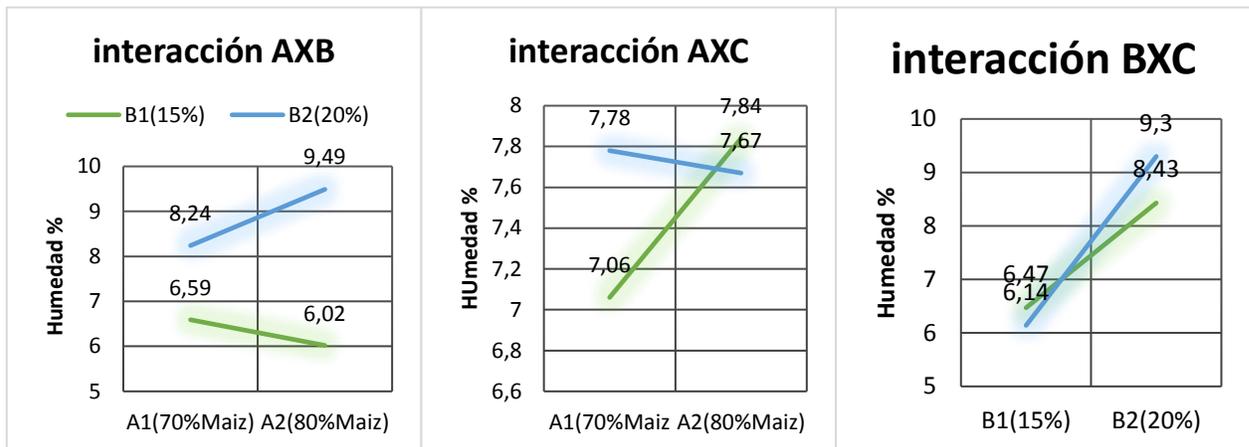


Figura 21 Interacciones de Factores AB (Tipo de mezcla - Humedad de Mezcla), BC (Humedad de Mezcla – Temperatura) y AC (Tipo de mezcla – Temperatura) respectivamente en la variable Cenizas.

La interacción **AB**, indica las diferencias significativas, entre las muestras evaluadas con los dos tipos de formulaciones la mezcla: **A1** (70% maíz+15% chocho+15% zanahoria blanca) y **A2** (80% maíz+10% chocho+10% zanahoria blanca), a un nivel de humedad en la mezcla **B1** (15%) y **B2** (20%). La **Figura 21** considera que el contenido de humedad en los extruidos disminuye a medida que se sustituye el contenido de maíz de 20 a 30% por zanahoria blanca y chochos en la mezcla, particularmente en mezclas con 15% de humedad. Este efecto se produjo al aumentar el contenido proteico a la mezcla brindado por el chocho.

La interacción **AC** reporto diferencia significativa en las mezclas: **A1** (70% maíz+15% chocho+15% zanahoria blanca) y **A2** (80% maíz+10% chocho+10% zanahoria blanca), y temperaturas de **C1** (110°C) y **C2** (140°C). Por ello se interpreta que al aumentar el contenido de maíz de un 70% a un 80% en la una mezcla sometida a una temperatura de 110°C incrementa el contenido de humedad del producto, por el contrario, con un 80% de maíz, sometida a una temperatura de 140°C reduce la humedad de esta mezcla produciendo una mayor expansión. (Seth, Badwaik, & Ganapathy, 2015) afirma en su investigación que el valor más alto de expansión se encontró con una mezcla que tenía un contenido de humedad del 12% y una temperatura del barril de 140 ° C, mientras que el valor más bajo se encontró en una mezcla con contenido de humedad del 18% y una temperatura del barril de 100 ° C.

La interacción **BC** registro diferencia estadística en los factores de humedad en la mezcla **B1** (15%) y **B2** (20%). y temperaturas de **C1** (110°C) y **C2**(140°), debido a la humedad en el proceso, causada por las altas temperaturas en la cámara de extrusión ya que a 110°C se provoca poca o casi nula evaporación, por otra parte, la temperatura de 140 °C provoca una alta evaporación en concentraciones de humedad de 15 y 20%.

4.4.2 Contenido de lípidos

La adición de lípidos en la mezcla tuvo un impacto en el proceso de extrusión, siendo un lubricante, reduce la fricción entre las partículas de la formulación y los componentes internos de la extrusora. Cuanto menor sea la cantidad de fricción, menor será la entrada de energía mecánica, resultando en menor expansión (mayores densidades aparentes del producto) (Riaz & Rokey, 2015).

Los resultados obtenidos de los tratamientos en función del contenido de lípidos (**Figura 22**) muestran rangos que van desde 0,50% hasta 1,98%, de este modo los valores obtenidos a la salida del extrusor fueron normales. (Ilo et al., 2000) comenta que la adición de lípidos en pequeñas cantidades (<3%) en la cocción por extrusión tiene solo un bajo efecto en la expansión del extruido en la matriz, mientras que cantidades superiores al 5% resultan en una disminución rápida de la expansión del extruido.

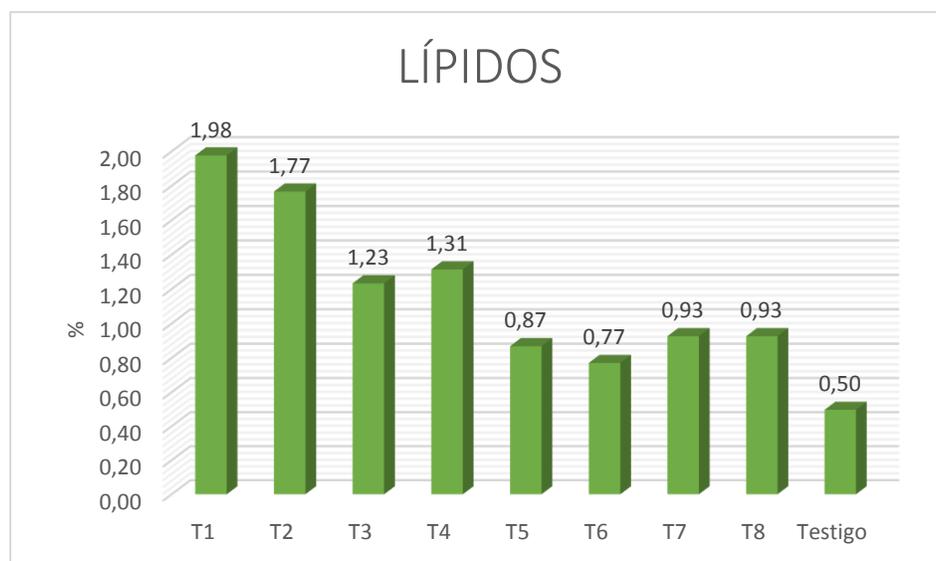


Figura 22 Lípidos del Producto Extruido (%)

Los tratamientos con menores contenidos de lípidos fueron los procesados con una mezcla de (80% maíz+10% chocho+10% zanahoria blanca), esto fue debido a la disminución del contenido de chocho. Rojas, (2016) reporta valores de grasa de 14-24% en el chocho confirmando que la proteína y la grasa son la mitad de su peso por este motivo al añadir una mayor cantidad de chocho aumentara su contenido de grasa.

La prueba de significancia de tukey al 5% (**Tabla 32**) reporta que los mejores tratamientos fueron el testigo (100%) ocupando el rango “a” y el T6 (80% maíz +10% chocho +10% zanahoria blanca) obteniendo el rango “ab” con valores de grasa de 0,50% y 0,77% respectivamente.

Por el contrario, los tratamientos T1(70% maíz +15% chocho +15% zanahoria blanca) 15% humedad y 110°C y el tratamiento T2(70% maíz +15% chocho +50% zanahoria blanca) 15% humedad y 140°C contaron con las menores concentraciones obteniendo los rangos “f”

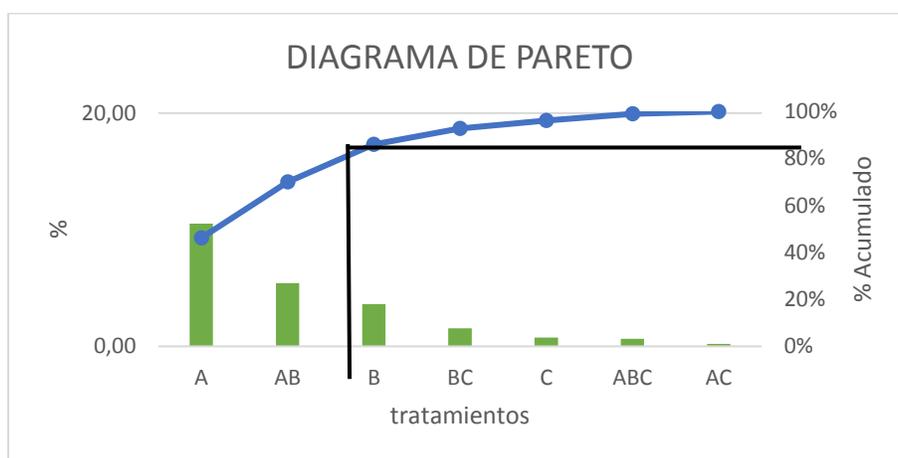


Figura 23 Diagrama de Pareto para el lípido

En los resultados reflejados en la **Figura 23** se observa que los tres factores en estudio A (Tipo de mezcla), y las interacciones AB (Tipo de mezcla - Humedad de Mezcla), son los más influyentes sobre el contenido de grasa de los productos extruidos esto se debe que al tipo de mezcla y la humedad son críticos gracias a que en el tipo de mezclas añadimos ingredientes como el chocho alto en grasa. En el caso de la humedad es importante ya que dentro de la cámara de extrusión está dispersa y elimina el contenido de lípidos.

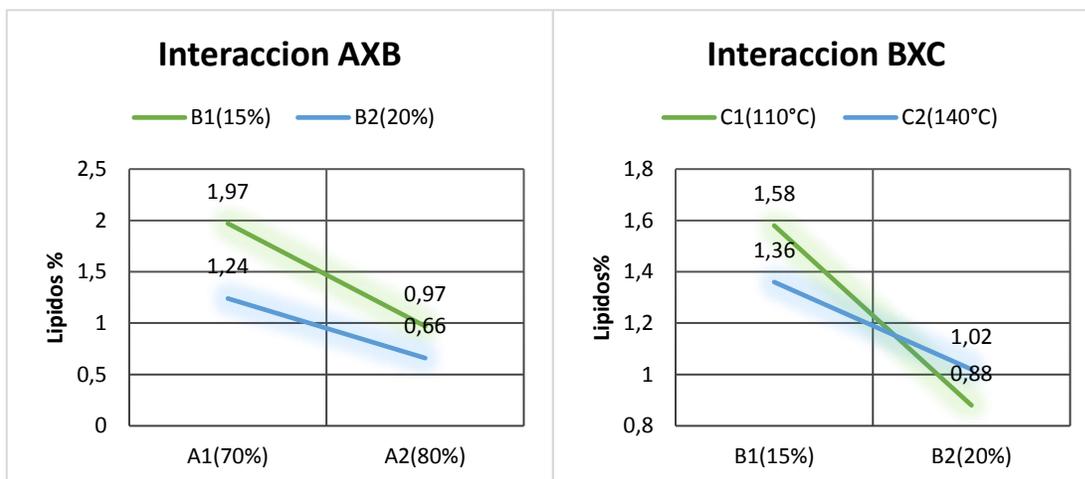


Figura 24 Interacciones de Factores AB (Tipo de mezcla - Humedad de Mezcla), BC (Humedad de Mezcla – Temperatura).

En las siguientes graficas se observar que en el caso de la interacción AB observamos que al aumentar en contenido de maíz se reduce el contenido de grasa independientemente de porcentaje de humedad que se haya utilizado del mismo modo podemos observar que al utilizar humedades del 15% aumenta considerablemente el contenido de grasa.

En el caso de la interacción BC se determinó del mismo modo que en la interacción anterior que al reducir el contenido de humedad aumenta el contenido de grasa aunque al utilizar temperaturas altas se reduce el contenido de grasa gracias a la hidrólisis producida por la alta temperatura (Arêas et al., 2016).

4.4.3 Contenido de Proteína

El valor nutricional de la proteína depende de la cantidad de digestibilidad y la disponibilidad de aminoácidos esenciales. La digestibilidad se considera el determinante más importante de la cantidad de las proteínas en adultos. El valor nutricional de las proteínas vegetales suele mejorarse gracias a las condiciones de cocción por extrusión dándose así en el producto un aumento en la digestibilidad. Probablemente sea el resultado de la desnaturalización de las proteínas y la inactivación de los inhibidores de las enzimas en las plantas crudas (Arêas et al., 2016).

En la **Figura 25** se presenta el contenido de proteína de los snack obtenidos en el proceso de extrusión donde los valores se encuentran en rangos desde 8,32% hasta 18,32% que son

óptimos considerando la inclusión del chocho con un contenido de proteína de 38 % que es más alto comparado con las otras materias primas como son el Maíz y la Zanahoria blanca que tiene contenidos de proteína de 5 y 4 %, (Alam et al., 2015) afirma que con solo el 15% de reemplazo de leguminosas existe un aumento significativo en el contenido y la calidad de las proteínas. Asimismo (Ojokoh, Yimin, & Eromosele, 2015) comenta que podemos obtener productos con hasta el 23% de proteína utilizando leguminosas como la soya y el chocho.

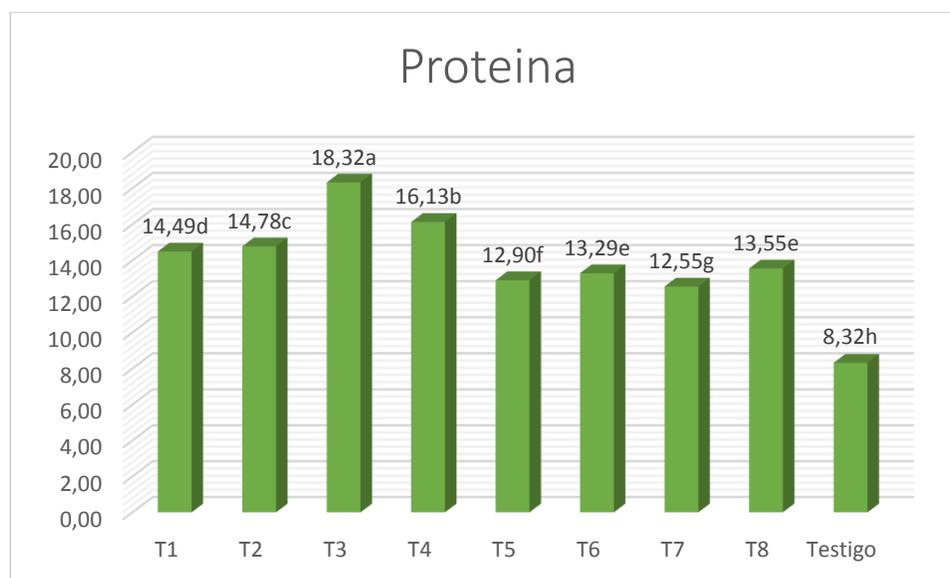


Figura 25 Proteína del Producto Extruido (%)

La prueba de comparación de tukey para proteína **Figura 25** encontró un comportamiento diferente entre cada uno de los tratamientos existiendo diferencia estadística. Por ello se determinó en el rango “a” el tratamientos T3(70% Maiz,15%-Humedad-140°C) siendo el que mayor contenido de proteína esto debido al mayor contenido de chocho (Phillips & Williams, 2012) comenta que las proteínas tienen una función principal en muchos procesos biológicos necesarios para el funcionamiento del cuerpo humano Por otra parte, el testigo es el tratamiento con menor concentración de proteína esto debe ser elaborado a partir de solo maíz sin los aportes de chocho y zanahoria blanca gracias a que el chocho y la zanahoria blanca aportan una alta cantidad de proteína así también mejorando el valor biológico con la complementación de aminoácidos.

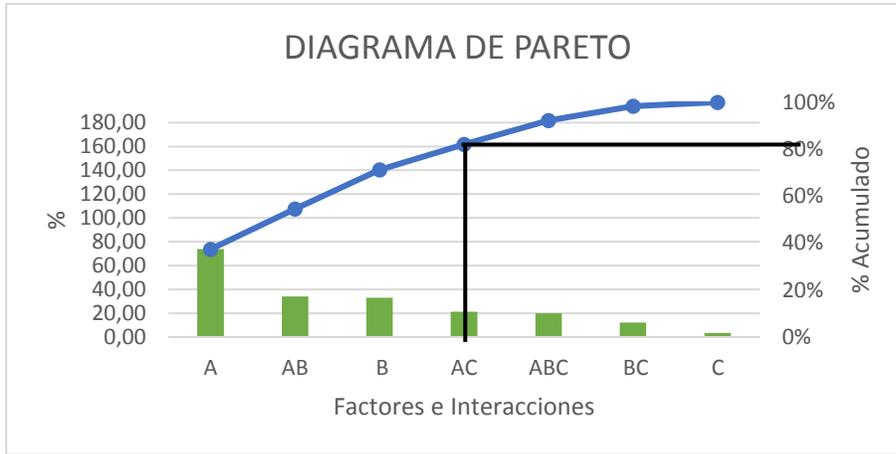


Figura 26 Diagrama de Pareto para Proteína

En los resultados reflejados en el diagrama de Pareto de la proteína podemos observar que los factores e interacciones más influyentes en el contenido de proteína fueron el factor A (Tipo de mezcla) el factor B (Humedad de Mezcla) y la interacción AB (Tipo de mezcla - Humedad de Mezcla). Esto se debe gracias a que el chocho tiene una alta concentración de proteínas por lo tanto sirve para la elaboración de productos alimenticios, comidas con alto contenido proteico, sin embargo la humedad juega un papel importante en la biodisponibilidad de la proteína mediante la desnaturalización como nos afirma (Rokey, 1995) que la extrusión húmeda puede también aumentar la biodisponibilidad de proteína por desnaturalización, sin disminuir su calidad

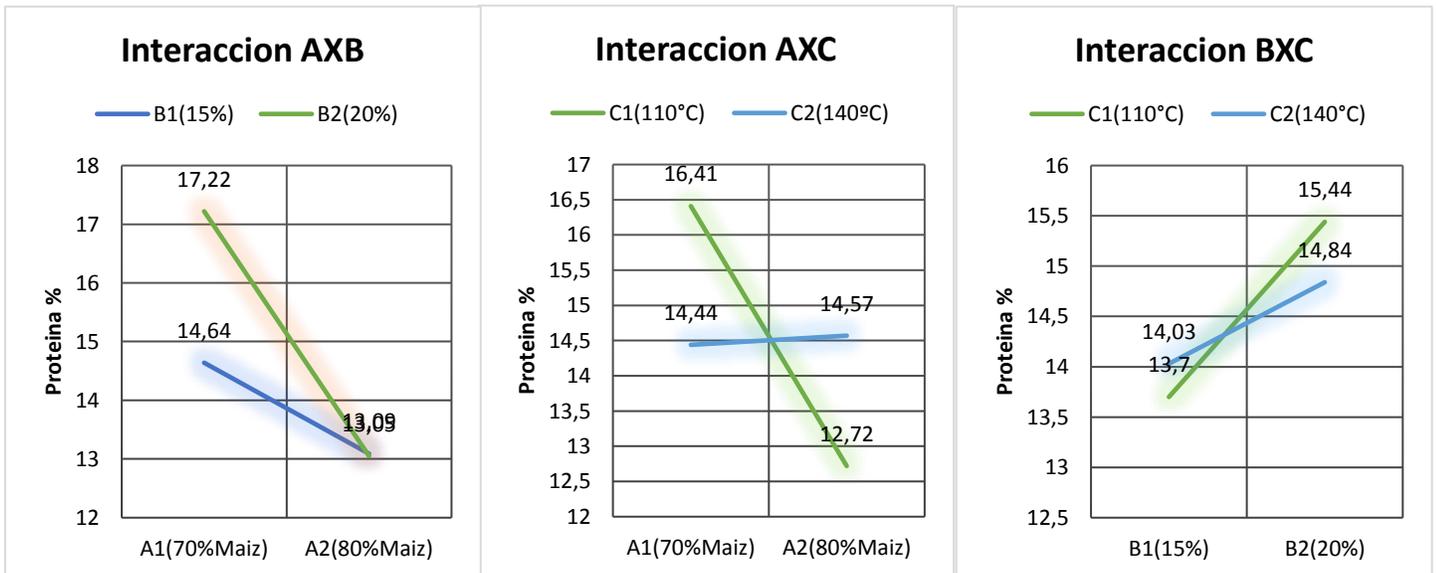


Figura 27 Interacciones de Factores AB (Tipo de mezcla - Humedad de Mezcla), BC (Humedad de Mezcla – Temperatura) y AC (Tipo de mezcla – Temperatura) respectivamente en la variable Proteína.

En las siguientes figuras se observa la interacción AB se obtiene un porcentaje más alto de proteínas reduciendo el porcentaje de maíz y remplazándolo con otras materias primas de carácter proteico existiendo una mayor obtención de proteínas al ser manejadas con una humedad de B2(20%) Por otro lado la interacción BC muestra que al manejar el experimento a 140°C existe una desnaturalización de la proteína cambio significativo en el contenido de proteína por el contrario al aumentar el contenido de chocho y zanahoria blanca y utilizar una temperatura de 110°C existe una mayor absorción de agua generando una mejor gelatinización en este caso los almidones crean complejo como nos comenta (Rahman, 2009) que se presentan interacciones almidón-proteína en procesos de cocción interactuando sobre las propiedades reológicas y térmicas afectando la cantidad de proteína del producto final también corroborando con las investigaciones de (Ma, Fan, Wu, Zhang, & Zhang, 2017).

4.4.4 Contenido de cenizas

Los minerales tienen diversas funcionalidades y potencialidades en el metabolismo del cuerpo y la homeostasis, la deficiencia de estos componentes bioactivos puede resultar en una abundante incidencia de trastornos comunes y los síntomas de la enfermedad. Conocimiento de mantenimiento del contenido mineral en términos de alimentos seguros (Gharibzahedi & Jafari, 2017).

En la **Figura 28** podemos observar el contenido de cenizas de los snack obtenidos por medio del proceso de extrusión donde obtenemos valores que se encuentran entre 0,57 % y 1,16 % estos valores se encuentran acordes al tener tres materias primas con contenidos de ceniza relativamente bajos sin embargo las cenizas se mantiene acorde con las materias primas ya que estas no son termo sensibles donde determinamos que el mejor tratamiento es el T5 con un contenido de cenizas de 1,16 donde se nos confirma (Sundarrajan, 2014) que este es un buen resultado considerando que los minerales son los micronutrientes esenciales que se requieren como compuestos vitales en la dieta humana donde las leguminosas pueden hasta

un 4% de cenizas. Los minerales desempeñan un papel importante en las diferentes funciones bioquímicas en el cuerpo proporcionando fuerza muscular y propiedades antioxidantes.

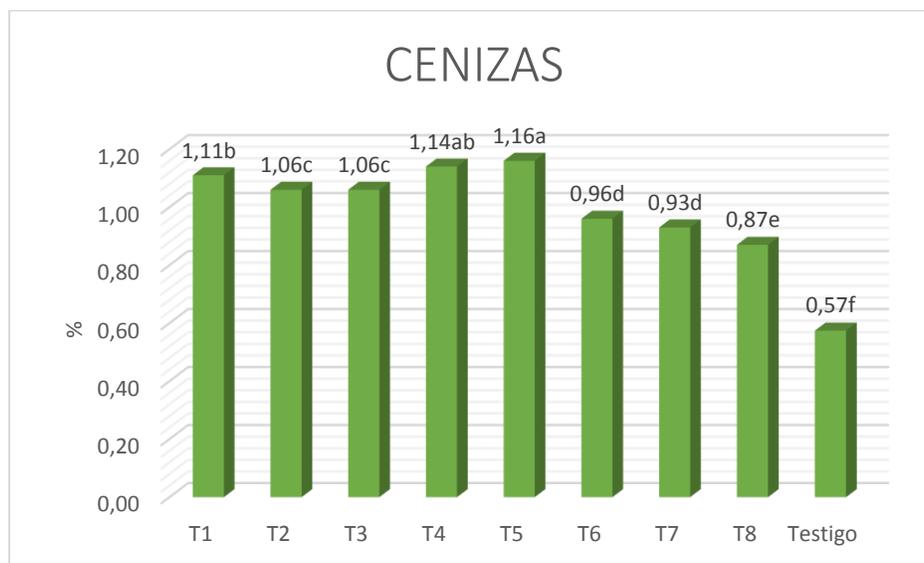


Figura 28 Cenizas del Producto Extruido (%)

Al realizarse la prueba de tukey ($\alpha 0.05$) se observan varios rangos diferentes para cada tratamiento, registrando diferencias estadísticas entre ellos, El T5 es el que presenta mayor contenido de cenizas por lo tanto mayor contenido de minerales aprovechables en mayor cantidad afirma (García, Pacheco-Delahaye, Tovar, & Pérez, 2009) y las leguminosas pueden tener hasta un de 3 a 4% de cenizas(Altan & Maskan, 2012).Por otra parte al existir niveles significativos de minerales y componentes grasos puede reducir la expansión. Esto se debe principalmente a la estructura de los cenizas que modifican el comportamiento reológico de la masa durante la extrusión (Altan & Maskan, 2012)

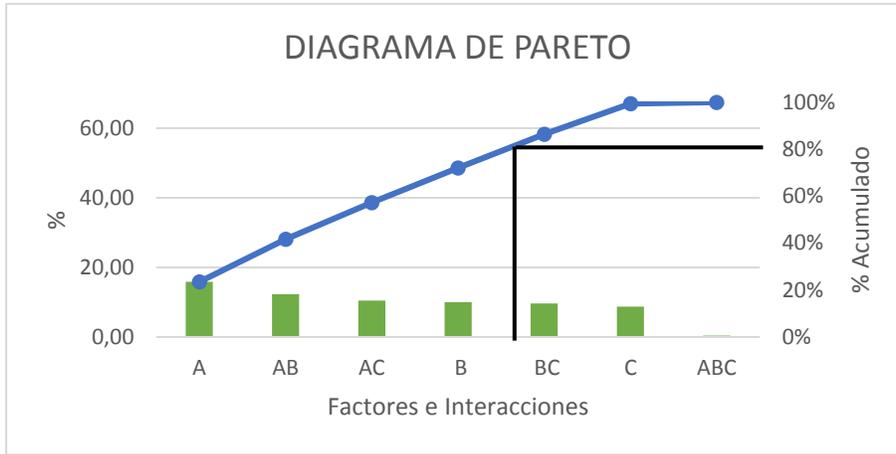


Figura 29 Diagrama de Pareto para Cenizas

En los resultados reflejados en el diagrama de Pareto en el cual se observa los factores e interacciones que más influenciaron en el contenido de cenizas siendo estos el factor A (Tipo de mezcla) el factor B (Humedad de Mezcla), la interacción AB (Tipo de mezcla - Humedad de Mezcla) y las interacción AC(Tipo de mezcla – Temperatura de extrusion). Esto se debe a que las materias primas tienen una alta concentración de minerales destacando a la zanahoria blanca que destaca por su fácil digestión, producen gránulos finos de almidón y de alta calidad para el consumo en la dieta diaria, representa una alta fuente minerales como: calcio, fósforo y hierro, además de las vitaminas A, E, D y K (Ponce, 2015).

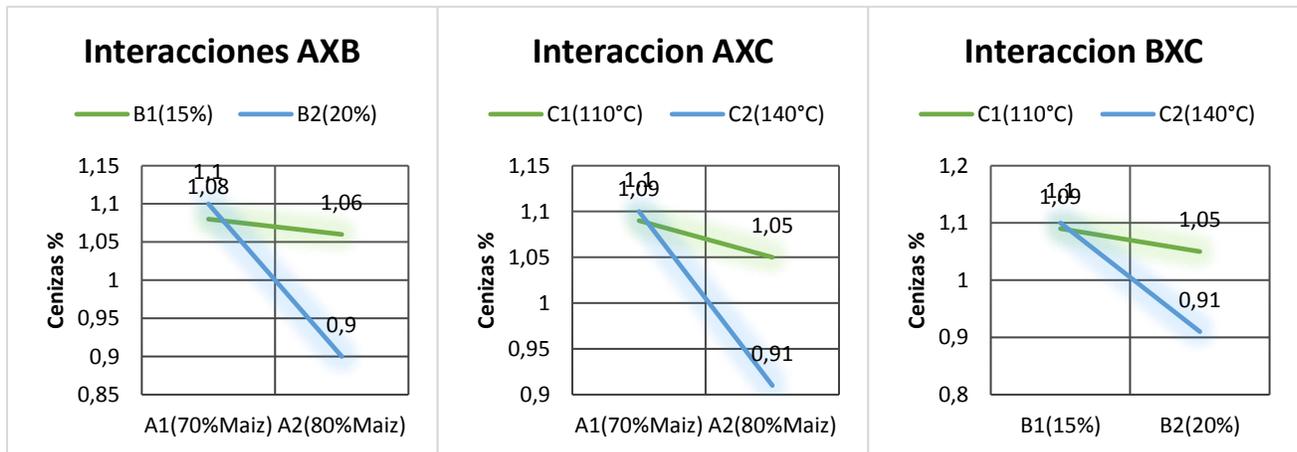


Figura 30 Interacciones de Factores AB (Tipo de mezcla - Humedad de Mezcla), BC (Humedad de Mezcla – Temperatura) y AC (Tipo de mezcla – Temperatura) respectivamente en la variable Cenizas.

En las siguientes interacciones podemos observar que AB (Tipo de mezcla - Humedad de Mezcla), Y AC(Tipo de mezcla – Temperatura) los contenidos de cenizas disminuyen independientemente del contenido de humedad y temperatura utilizada esto se debe a que estos compuestos no son afectados durante la extrusión (Drago et al., 2007). Al aumenta el contenido de maíz a un 80% la ceniza disminuye significativamente ya que las otras materias primas contienen más minerales que el maíz. Por otro lado, en la interacción BC observamos que al aumentar la humedad a 20% con una temperatura de 140°C disminuye significativamente ya que gracias a las altas temperaturas existe pérdida de hierro y zinc (Drago et al., 2007).

4.4.5 Contenido de fibra

En la **Figura 31** se presenta el contenido de fibra de los productos obtenidos en el proceso de extrusión donde se encontraron valores que oscilan desde 0,57% hasta 1,83% donde estos valores fueron óptimos porque al tener un contenido alto de fibra estos dañan el producto y se pegan en la cámara de extrusión como afirma (Arêas et al., 2016) también a considerar que la degradación de las fibras alimenticias puede ocurrir en procesos que involucran cortaduras también haciendo que esta tenga mejor disponibilidad en el intestino debido al intenso trabajo mecánico durante la extrusión.

También se observa que en la investigación de (Betancur & Casotto, 2007) donde se elaboró extruidos con ingredientes como el maíz y el frejol se obtuvieron contenidos de fibra de 1,77 % utilizando 75% maíz y 25% frejol.

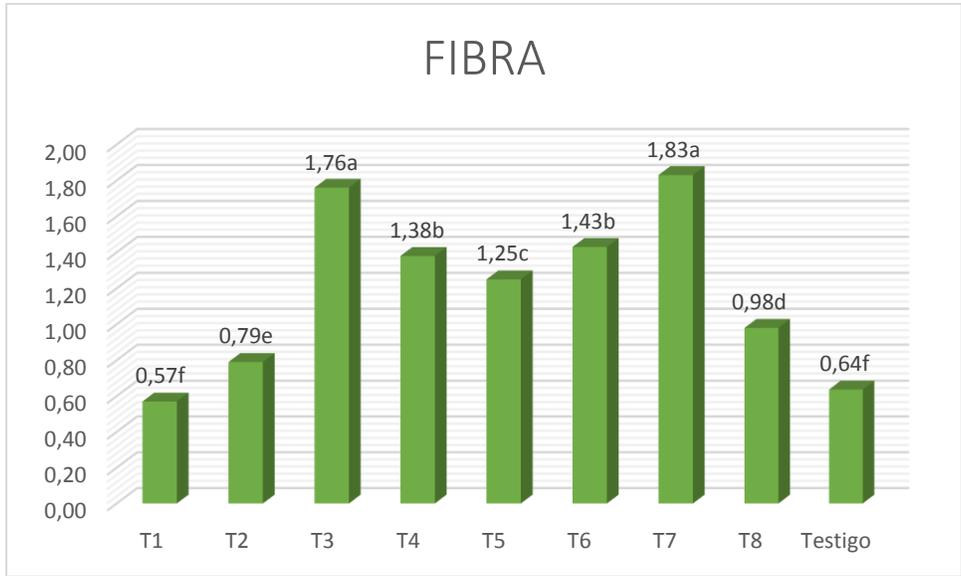


Figura 31 Fibra del Producto Extruido (%)

Al realizar la prueba de tukey ($\alpha > 0,05$) podemos observar que existe significancia estadística existiendo cuatro rangos donde el primero es el T7(80% maíz,10%chocho, 10% zanahoria blanca) 15%humedad 110°C y el T3 (70% maíz,15%chocho, 15% zanahoria blanca) 15%humedad 110°C y son estadísticamente similares ubicándose en el rango “a”

Al respecto de los tratamientos con menores contenidos de fibra T1(Maíz (70%) + 15% chocho + 15% zanahoria blanca.) 15% humedad, 110°C y el testigo obtuvieron el rango “f” determinando que para aumentar el contenido de fibra se debe considerar mayor adición de otras materias primas.

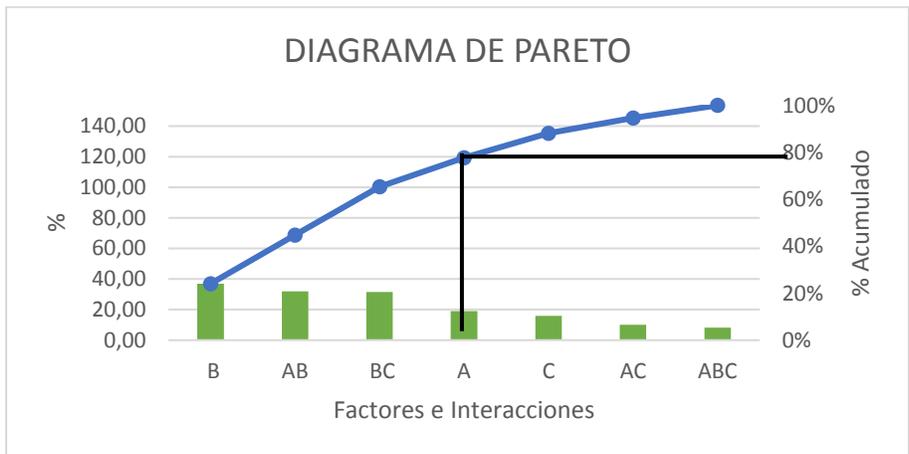


Figura 32 Diagrama de Pareto para Fibra

Los resultados reflejados tanto en la **Figura 31** como en la **Figura 32**(interacción AB) corroboran lo antes mencionado, con esta afirmación los valores más altos de fibra en el producto extruido se obtienen utilizando mezclas de gritz con 15% de humedad; si se utiliza mezclas de gritz con 20% de humedad en cualquiera de las dos formulaciones de mezclas se obtiene valores más altos. Sin embargo, con un efecto no tan pronunciado de los factores A y C (interacción AC) permite precisar en los resultados antes mencionados, por lo tanto, se sugiere que el contenido de fibra en el producto podría reducirse empleando mezclas de gritz con 70% maíz, 15% chocho y 15% zanahoria blanca con 15% de humedad a una temperatura de 140°C en la cámara de extrusión.

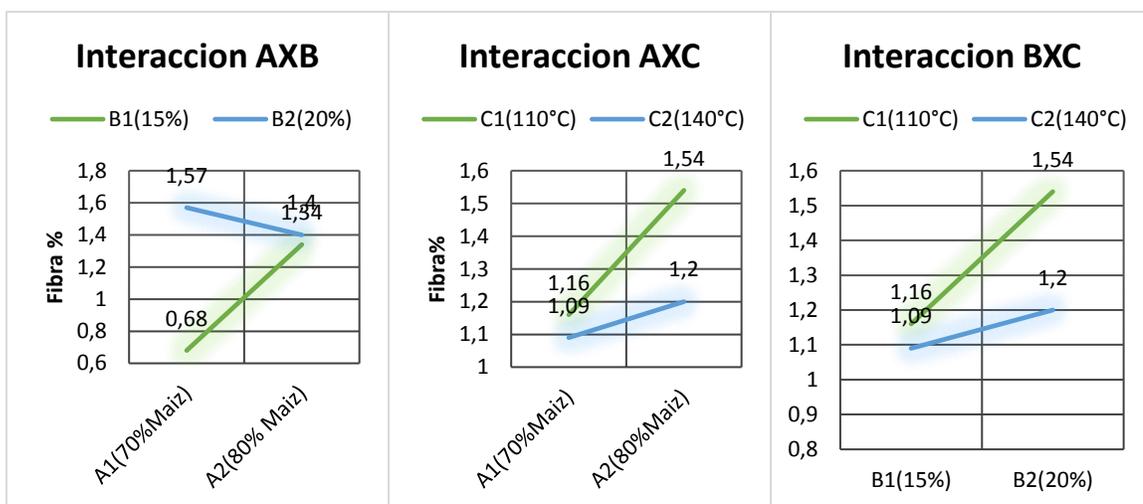


Figura 33 Interacciones de Factores AB (Tipo de mezcla - Humedad de Mezcla), BC (Humedad de Mezcla – Temperatura) y AC (Tipo de mezcla – Temperatura) respectivamente en la variable Fibra.

En los siguientes gráficos se observa en la interacción AB al aumentar el contenido de maíz y establecer una humedad inicial de 15% se obtiene un incremento en el contenido de fibra por otro lado al reducir el contenido de maíz pero en este caso utilizar una humedad del 20% existe un aumento en el contenido de fibra en el caso de la interacción AC observamos que la temperatura influye significativamente en la Interacción AB Y AC los contenidos de cenizas disminuyen independientemente del contenido de humedad y temperatura utilizada al aumenta el contenido de maíz a un 80% la ceniza disminuye significativamente por otro

lado en la interacción BC observamos que al aumentar el contenido de humedad a 20% a una temperatura de 140°C disminuye significativamente con lo que podemos concluir los tratamientos que contienen un 80% maíz presentan menores contenidos de cenizas.

4.4.6 Contenido de Carbohidratos

La **Figura 34** se muestra los tratamientos más influyentes en el contenido de carbohidratos, siendo este el componente principal para la elaboración de alimentos extruidos.

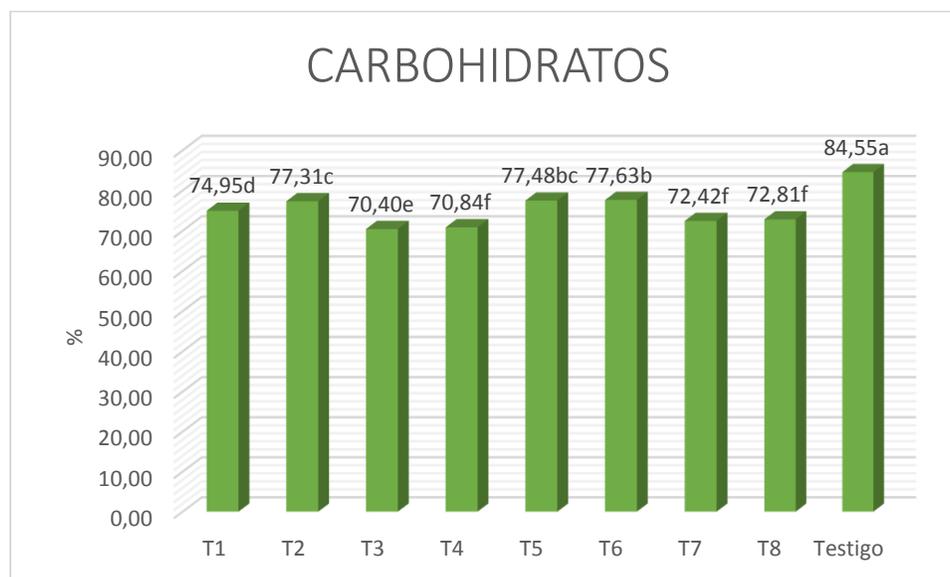


Figura 34 Carbohidratos del Producto Extruido (%)

En la **Figura 34** se muestra el contenido de carbohidratos de los productos obtenidos mediante la extrusión, encontrándose valores que están en rangos que varían desde 70,40% hasta 84,55%, valores de carbohidratos que son normales a la salida del extrusor como afirma (Cheftel, 1986) que un producto extruido generalmente está formado entre el 70 y 80 % de carbohidratos donde estos nos ayudan a dar mayor expansión del producto extruido.

Por otro lado se realiza la extrusión para formar almidón resistente de absorción lenta como nos menciona (Altan & Maskan, 2012). Dado que los carbohidratos de absorción lenta se consideran beneficiosos en relación con la diabetes y la obesidad, es de interés nutricional que las condiciones de extrusión puedan influir en la tasa de absorción de almidón y la respuesta glucémica al almidón.

Aun en este caso el exceso de almidón aumenta el índice glucémico y por esta razón se ha determinado que el mejor tratamiento al ser el que tiene menor contenido de carbohidratos es el T4.

De acuerdo con la **Tabla 32** se nos presenta la prueba tukey ($\alpha > 0.05$) donde podemos observar que se diferenció cuatro rangos con comportamientos diferentes determinando el rango **a** de los tratamientos T9 (Testigo) fue el que presento menor contenido de carbohidratos al ser elaborado con un 100% maíz seguido por el T6 y T5 como los mejores tratamientos al contener menos contenido de carbohidratos.

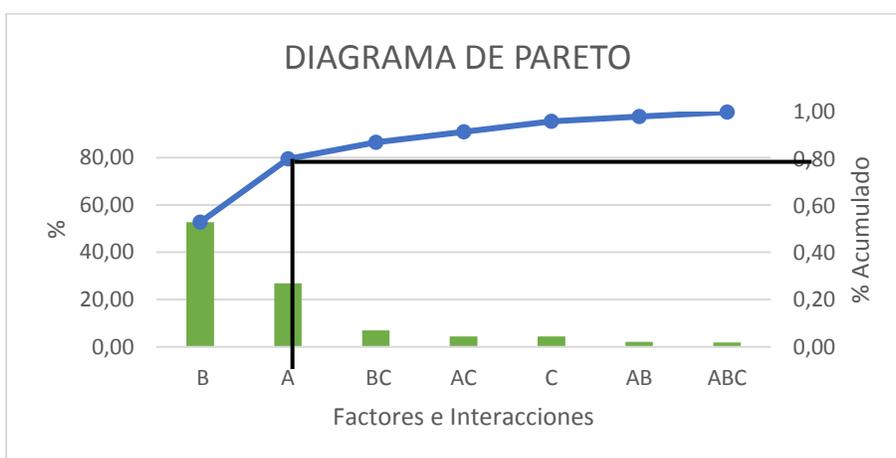


Figura 35 Diagrama de Pareto para Carbohidratos

En los resultados reflejados en el siguiente gráfico observamos los factores que más influyen en el contenido de carbohidratos fueron el factor A y el factor B siendo la formulación y el contenido de humedad ya que en la formulación al aumentar o reducir el contenido de maíz afectamos el contenido de carbohidratos por otra parte la humedad de la mezcla es un punto crítico al formar los cambios en la composición de los carbohidratos especialmente los almidones que se realizan dentro de la cámara de extrusión.

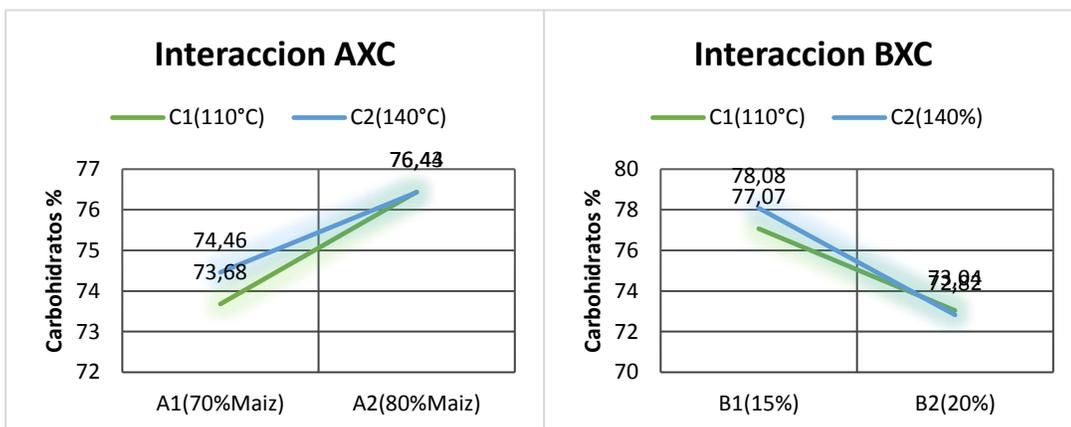


Figura 36 Interacciones de Factores BC (Humedad de Mezcla – Temperatura) y AC (Tipo de mezcla-Temperatura)

En las siguientes **Figura 36** se aprecia que la interacción AC presenta bajos contenido de carbohidratos en los productos extruidos, cuando se maneja con porcentajes de maíz del 70% a diferentes temperaturas, siendo el más la temperatura de 110°C óptima.

Por otro lado, la interacción BC presenta bajos contenidos de carbohidratos, cuando acondicionamos a la mezcla con una humedad del 20% por el otro lado al manejar la mezcla con un 15% de humedad el % de carbohidratos aumenta significativamente. Con lo que podemos concluir que el mejor tratamiento en presentar menor valor en esta variable es el T4.

4.5 Variables Funcionales Evaluadas en el Producto Extruido

En la **Tabla 33** se puede apreciar el análisis de varianza de las propiedades Funcionales tales como son: Índice de solubilidad de agua, Índice de absorción de agua, índice de expansión y densidad aparente en el cual se valora las cualidades de un extruido.

Tabla 33 Análisis de varianza de las propiedades funcionales

FV	ISA	IAA	IE	DA
	F-valor	F-valor	F-valor	F-valor
Tratamientos	50,26**	25,88**	255,99**	38,30**
A	10,143*	12,19**	88,14**	86,12**
B	94,68**	17,10**	100,73**	7,76*
C	17,48**	4,00 n.s	12,10**	10,83**
AB	49,01**	25,88**	38,20**	36,28**
AC	68,19**	69,53**	90,66**	18,15**
BC	0,13 n.s	21,97 *	7,37 *	56,88**
ABC	159,14**	5,40**	0,000477 n.s	50,04**
Test vs resto	3,33 n.s	62,84**	62,84**	40,38**
CV (%)	3,07	1,97	1,04	7,38

Los factores A (tipo de mezcla), B (humedad de la mezcla), como la interacción AB (tipo de mezcla - humedad de la mezcla) AC (tipo de mezcla- temperatura de extrusión), son significativas y altamente significativas ($\alpha \leq 0.01$).

Por otro lado, el factor C(temperatura de extrusion) resulto ser no significativo para la variable de absorción de agua, esto se debe principalmente a que la temperatura no afecto el porcentaje de agua que puede absorber el producto final esto se contrapone con los hallazgos de Altan & Maskan, (2012) comentando que la temperatura más baja causa más cadenas de polímeros no dañadas y una mayor disponibilidad de grupos hidrófilos para unir más agua y como resultado valores más altos de IAA, Varios estudios han demostrado que el IAA aumentó al aumentar la humedad.

4.5.1 Índice de solubilidad de agua

En la **Figura 37** se presenta el índice de solubilidad de agua de los productos obtenidos en el proceso de extrusión siendo a menudo usado como un indicador de degradación es decir mide la cantidad de componentes solubles del almidón después extrusion (Ajita & Jha, 2017).

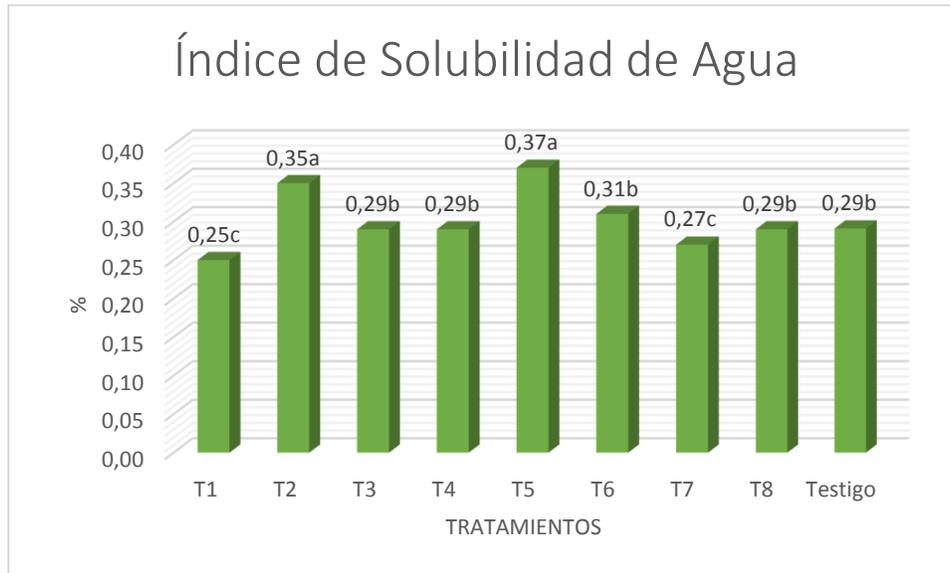


Figura 37 Índice de solubilidad de Agua en el producto extruido

La **Figura 37** muestra el índice de solubilidad de agua de cada uno de los tratamientos donde se encontró valores que fluctúan desde el 0,25 hasta el 0,37 donde los mejores tratamientos los que tiene mayor solubilidad de agua ya que es 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. También es un indicador del uso potencial que este producto podría tener, ya que si posee altos valores se puede utilizar en galletas, bebidas, atoles, etc. (Zazueta, Jacobo, Aguilar, Limón, & Camacho, 2011).

De acuerdo con la gráfica se nos presenta la prueba tukey ($\alpha > 0.05$) donde podemos observar que se diferenció tres rangos con comportamientos diferentes, determinando el rango **a** de los tratamientos T5 y T2 siendo estos los que presentaron mayor índice de solubilidad de agua

presentando una mejor solubilidad ya que en el caso de los dos tratamientos fueron manejados con un 15% de humedad por esto motivo siendo más solventes en el agua como nos menciona (Seth et al., 2015).

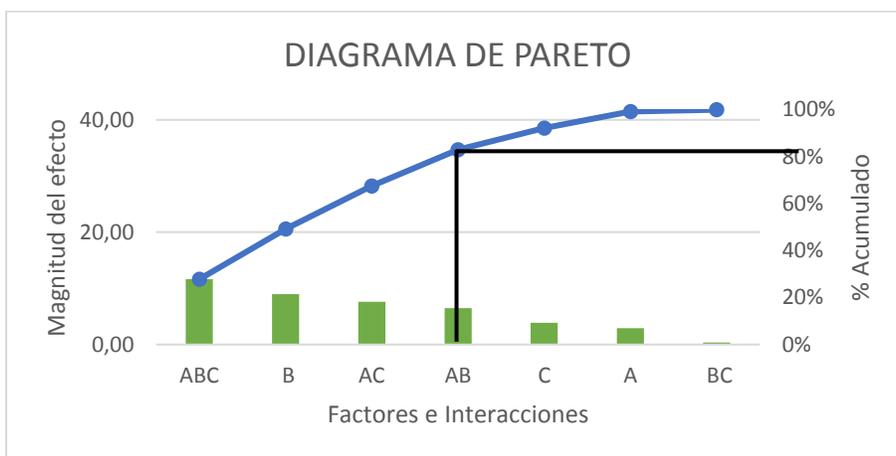


Figura 38 Diagrama de Pareto Índice de solubilidad de agua.

Los resultados reflejados en la **Figura 38** donde se observa los factores e interacciones más influyentes en la solubilidad de agua siendo estos el factor B ya que el contenido de agua (interacción AC).(A. Torres et al., 2013) planteo la posibilidad que las ramificaciones laterales (amilopectina) de las moléculas del almidón y un menor tamaño del gránulo, facilitan la entrada del agua a los espacios intermoleculares, aumentando la solubilidad de los polímeros, siendo la amilopectina la de mayor proporción de disolución.

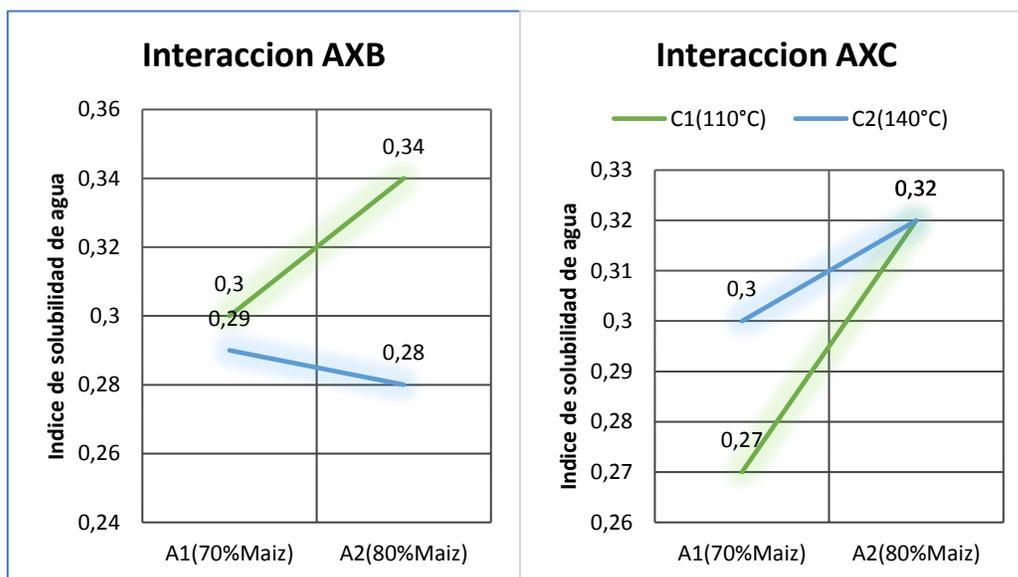


Figura 39 Interacciones de Factores AB (Tipo de mezcla - Humedad de Mezcla) y AC (Tipo de mezcla – Temperatura) respectivamente en la variable de solubilidad en agua.

En el siguiente grafico de interacciones podemos observar que para tener una solubilidad de agua optima se utilizó un porcentaje de maíz de 70% con la condición de ser manejada a una humedad de 15% por otro lado al utilizarse una humedad del 20 % se debe manejar indispensablemente una formulación con el 80% de maíz para que exista un aumento considerable en la solubilidad de agua ya que al presentarse más contenido de humedad en la alimentación de la extrusión es más fácil la obtención de la gelatinización del almidón y por lo tanto mayor disolución en agua.

Estos datos permiten afirmar que definitivamente bajos contenido de humedad de las mezclas previas al proceso de extrusión genera productos extruidos con bajos contenido de humedad a la salida de la cámara de extrusión sin importar el nivel de temperatura ni el tipo de formulación que se empleen, como mencionan (Gulati, Weier, Santra, Subbiah, & Rose, 2016) en su investigación: las condiciones de humedad más bajas brindan un producto extruido más deseable, que es uno con una mayor expansión, menor humedad y menor dureza.

4.5.2 Índice de absorción de agua

En la figura 29 se presenta el índice de absorción de agua de los productos obtenidos en el proceso de extrusión siendo este el que mide la cantidad del agua que absorbe el almidón y puede ser usado como indicador de la gelatinización(Ajita & Jha, 2017)

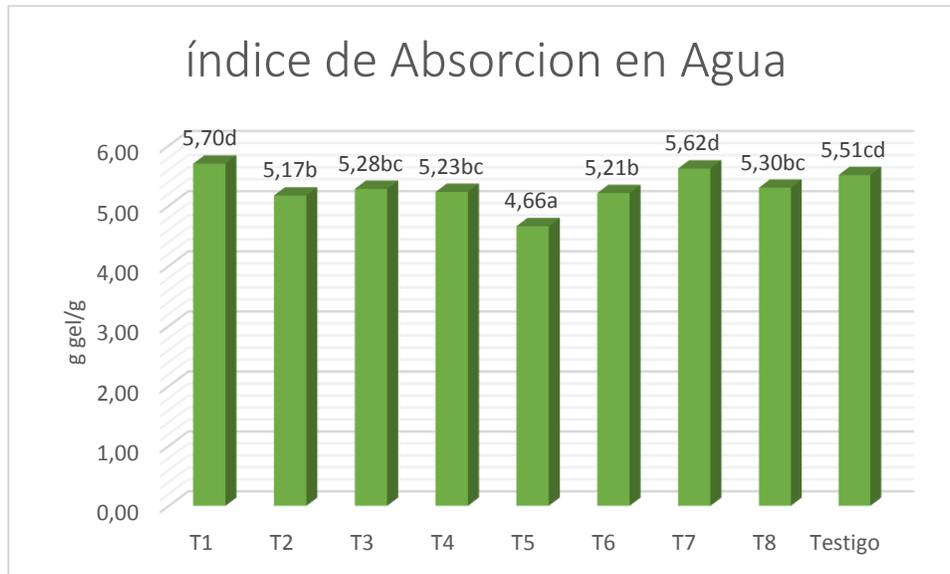


Figura 40 Índice de absorción de Agua en el producto extruido

Los resultados obtenidos en el índice de absorción de agua **Figura 40** oscilan desde 4,66 hasta 5,70 esto se encuentra gracias a la degradación de los almidones más solubles que son normales de obtener a la salida de la cámara del extrusor como afirma Pérez (2013), al utilizar mezclas con niveles de humedad entre el 10 al 30% y temperaturas en la cámara de extrusión de 100 a 180 °C, el producto extruido a la salida del extrusor tendrá valores de contenido de humedad desde 4 hasta 10 %.

En el presente estudio el factor B (contenido de humedad de la mezcla) tuvo mayor efecto sobre el contenido de humedad del producto extruido. Según la figura 2 se puede evidenciar que existen un factor y una interacción que más influyen en el contenido de humedad, donde en orden importancia están el contenido de humedad de la mezcla y la interacción Tipo de mezcla – temperatura (AC).

De acuerdo con la tabla 33 se nos presenta la prueba tukey ($\alpha > 0.05$) donde se puede observar que se diferenciaron 5 rangos con comportamientos diferentes, determinando el rango **a** de los tratamientos siendo el T5 siendo este el que presentó menor absorción de agua los tratamientos fueron manejados con un 15% de humedad por esto motivo siendo menos propenso a la absorción de agua.

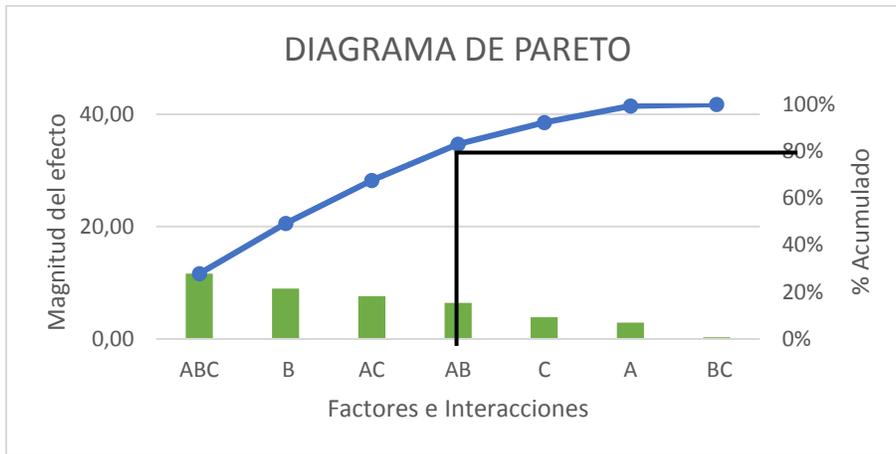


Figura 41 Diagrama de Pareto Índice de absorción de agua

Los factores con mayor influencia en la absorción de agua fueron Factor B humedad de la mezcla y la interacción AC (Tipo de mezcla – Temperatura), esto se debe a que la humectación afecta directamente sobre el índice de absorción de agua, el caso de la interacción AC el contenido de almidón y su calidad afectan la higroscopia del producto, esto se debe a que por las altas temperaturas este pierde su estructura y a la salida del extrusor tiende a absorber mayor humedad.

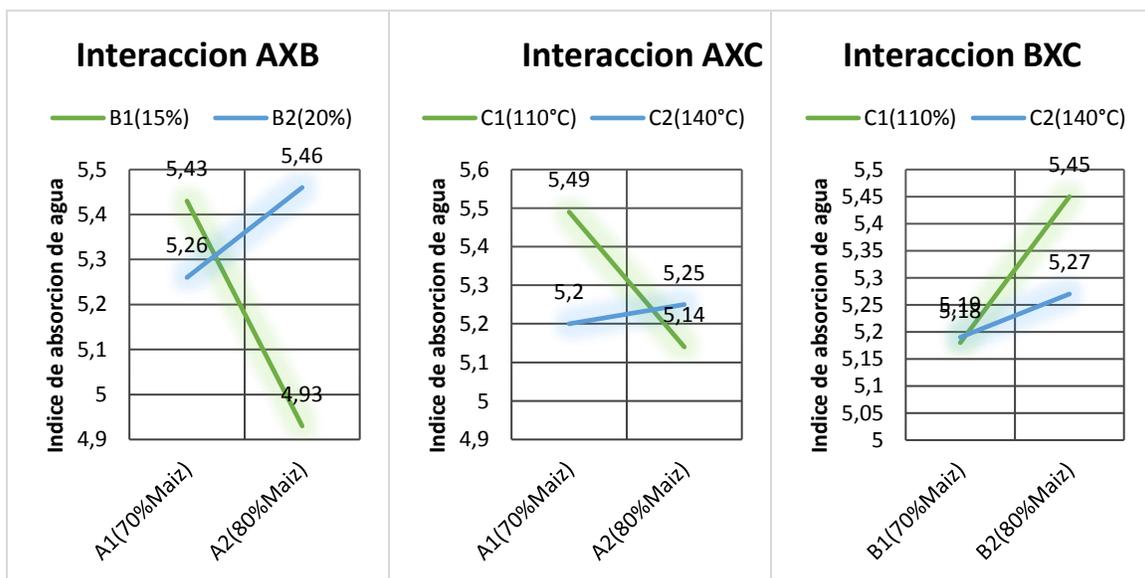


Figura 42 Interacciones de Factores AB (Tipo de mezcla - Humedad de Mezcla), BC (Humedad de Mezcla – Temperatura) y AC (Tipo de mezcla – Temperatura) respectivamente en la variable Solubilidad de agua

Estos datos permiten afirmar que definitivamente bajos contenido de humedad de las mezclas previas al proceso de extrusión genera productos extruidos con bajos contenido de humedad a la salida de la cámara de extrusión sin importar el nivel de temperatura ni el tipo de formulación que se empleen, como mencionan (Gulati et al., 2016) en su investigación: las condiciones de humedad más bajas brindan un producto extruido más deseable, que es uno con una mayor expansión, menor humedad y menor dureza.

4.5.3 Índice de expansión

La **Figura 43** presenta los resultados obtenidos en el índice de expansión, tomando en cuenta que los parámetros de expansión se derivan tanto del crecimiento de la burbuja al tamaño máximo como de la contracción resultante (Ajita & Jha, 2017).

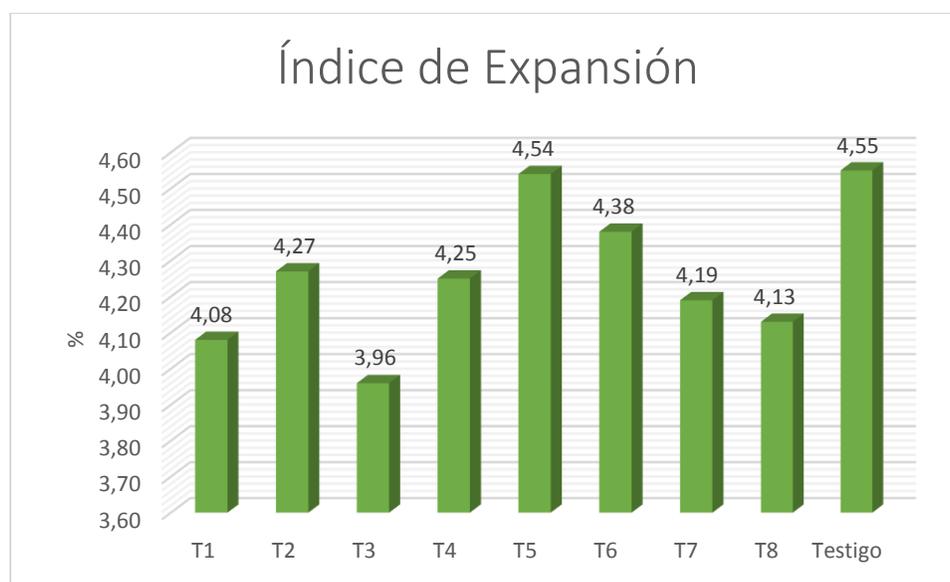


Figura 43 Índice de expansión en el producto extruido

Los resultados de índice de expansión (**Figura 43**) presentaron valores que se encuentran en un rango desde 3,96 a 4,55 donde se puede interpretar que estos rangos son óptimos considerando que según (Joy de acero et al., 2002) el grado de expansión máxima está estrechamente relacionada con el contenido de almidón. La expansión máxima se obtiene con almidones puros (un aumento del 500% en el diámetro del producto), seguido de granos enteros (400%) y con expansiones más bajas para las semillas o germen (150-200%) Considerando que se introdujo alimentos fibrosos donde nos menciona (Ding, Ainsworth, Tucker, & Marson, 2005) que los contenidos de fibra limitan la expansión del producto terminado.

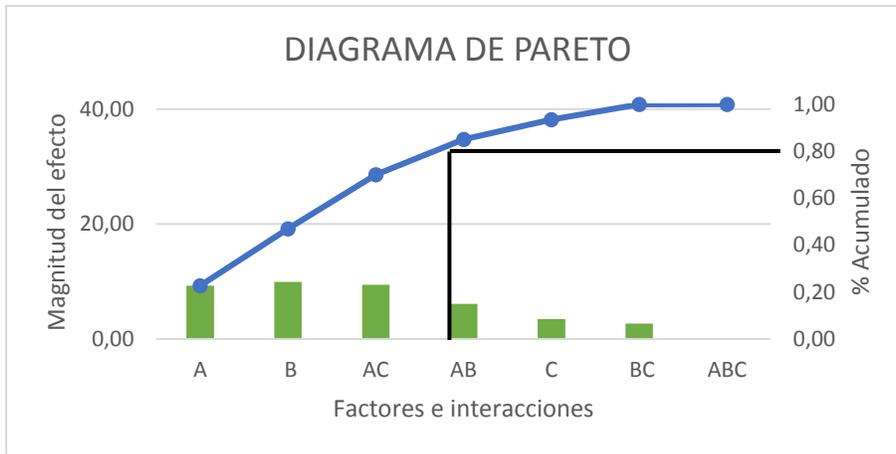


Figura 44 Diagrama de Pareto Índice de expansión.

Los resultados reflejados en la **Figura 44** muestra los factores A(Formulación de la mezcla),B(humedad de la mezcla) e interaccion AC como los más influyentes en la expansión del producto final esto se debe que al utiliza mezclas de grits con 20% de humedad en cualquiera de las dos formulaciones de mezclas se obtiene valores más bajos de expansión, pero también depende de la formulación ya que al existir mayor contenido de amilopectina esta produce extruidos con mayor expansión. Por esta razón mezclas de grits con 80% maíz, 15%chocho y 15%zanahoria blanca con 15% de humedad a una temperatura de 140°C en la cámara de extrusión.

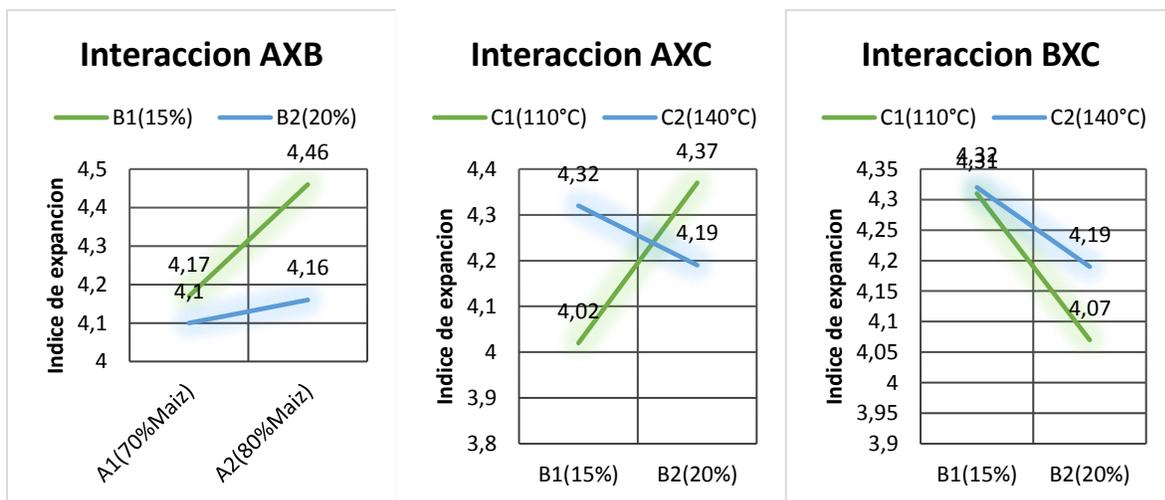


Figura 45 Interacciones de Factores AB (Tipo de mezcla - Humedad de Mezcla), BC (Humedad de Mezcla – Temperatura) y AC (Tipo de mezcla – Temperatura) respectivamente en la variable Índice de expansión.

Estos datos permiten afirmar que definitivamente bajos contenido de humedad de las mezclas previas al proceso de extrusión genera productos extruidos con bajos contenido de humedad a la salida de la cámara de extrusión sin importar el nivel de temperatura ni el tipo de formulación que se empleen, como mencionan (Gulati et al., 2016) en su investigación: las condiciones de humedad más bajas brindan un producto extruido más deseable, que es uno con una mayor expansión, menor humedad y menor dureza.

4.5.4 Densidad Aparente

Figura 46 muestra los resultados obtenidos en el análisis de densidad aparente, tomando en cuenta que el aumento de la humedad en la alimentación de las materias primas conduce a un fuerte aumento en la densidad del extruido (Ajita & Jha, 2017).

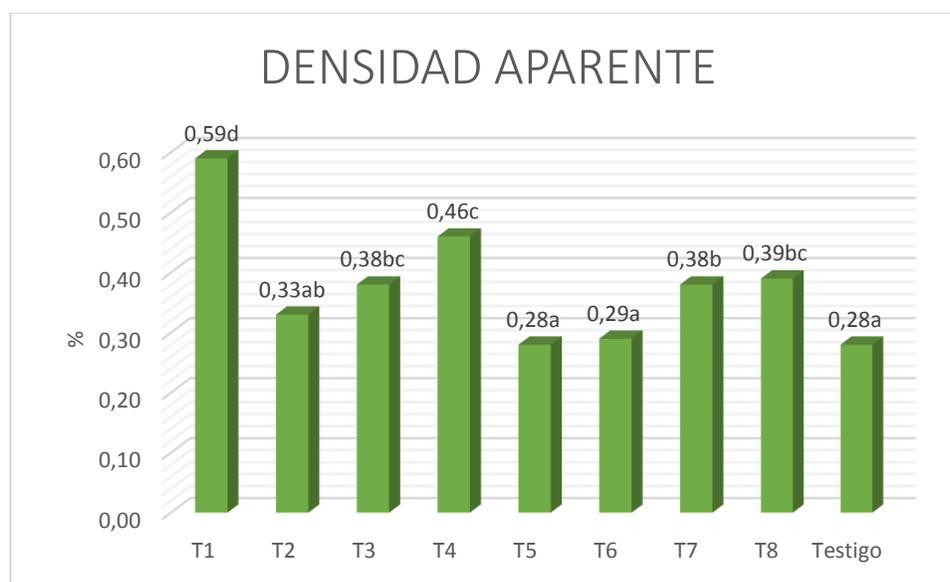


Figura 46 Densidad Aparente en el producto extruido

En la **Figura 46** se presenta la densidad aparente en el producto final después del proceso de extrusión, los valores oscilan desde 0,28 hasta 0,59 valores de densidad aparente que se consideran normales a la salida del extrusor que son normales de obtener a la salida de la cámara del extrusor siendo esta inversamente proporcional a la expansión (Alam et al., 2015). Porque la densidad aparente y la relación de expansión son atributos físicos dependientes. El aumento en el volumen y la densidad corresponde a la disminución en la relación de expansión y viceversa. Se ha informado que la expansión extruida es la que más depende del contenido de humedad del material y la temperatura de extrusión. Densidad aparente cambió cuadráticamente con la humedad del alimento y la formulación. Siendo la

formulación, y humedad de alimentación aplicada al T1 fueron las que provocaron una mayor densidad aparente como se vio en corrobora en la investigación de (Ainsworth, 2004).

De acuerdo con la tabla 52 se nos presenta la prueba tukey ($\alpha > 0.05$) donde se puede observar que se diferenció 4 rangos de comportamientos diferentes, determinando el rango **a** de los que engloba a los siguientes tratamientos (T5, T9, T6) siendo los que presentaron menor densidad aparente de agua tratamientos fueron manejados con un 15% de humedad por esto motivo siendo menos propenso a la absorción de agua.

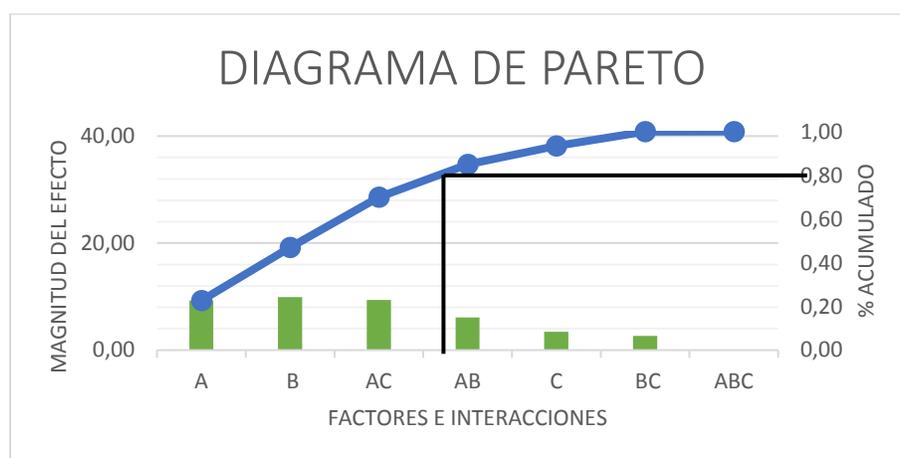


Figura 47 Diagrama de Pareto densidad aparente.

Los resultados reflejados tanto en la **Figura 47** podemos observar los factores e interacciones que influyen directamente en el experimento como podemos observar en el factor A que es el tipo de mezcla y el factor B la humedad influyen en el experimento también podemos constatar que la interacción AC también influyen al existir por medio de la temperatura modificaciones en las materias primas generándose mayor o menos densidad aparente.

En la **Figura 48** podemos observar las interacciones que se dan en la densidad aparente donde en la interacción AB la densidad aparente aumenta a medida que se disminuye el contenido de maíz, aunque siendo trabajamos con humedades se reduce la densidad aparente del producto final

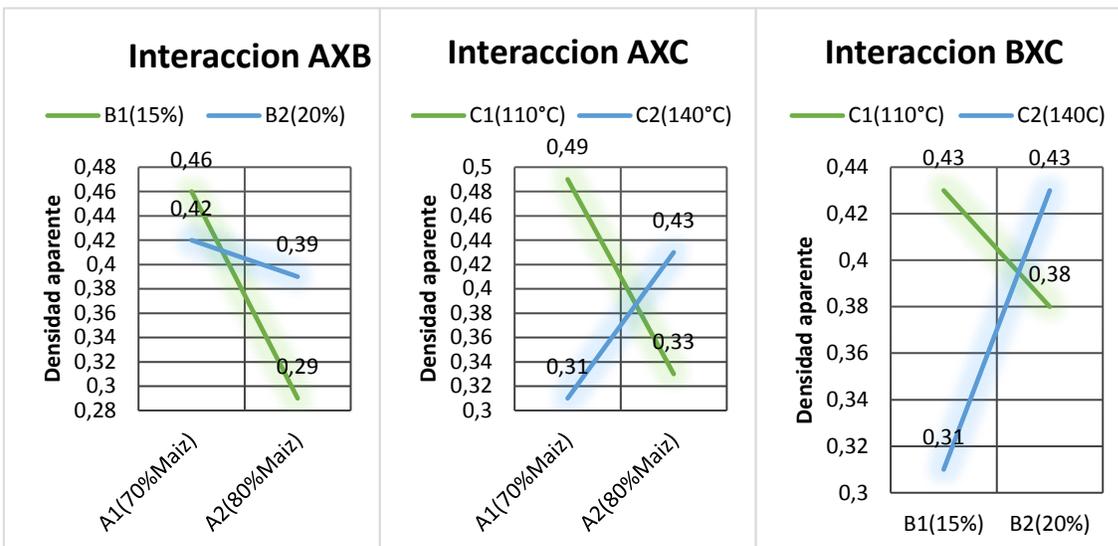


Figura 48 Interacciones de Factores AB (Tipo de mezcla - Humedad de Mezcla), BC (Humedad de Mezcla – Temperatura) y AC (Tipo de mezcla – Temperatura) respectivamente en la variable

Por otra parte, en la interacción AC se observa que al manejar el experimento a 110°C con una alimentación del 80% maíz podemos reducir la densidad aparente por el contrario al utilizar la temperatura de 140°C aumenta considerablemente la densidad aparente.

4.6 Parámetros de calidad del producto extruido

4.6.1 Análisis instrumental de textura sensorial en el snack

El estudio de la textura instrumental en alimentos ha sido impulsado por diferentes necesidades. En general, estos enfoques se dividen en pruebas prácticas desarrolladas para mostrar un aspecto de la calidad de los alimentos y pruebas fundamentales desarrolladas para investigar las propiedades físicas de los alimentos. Sin embargo, en muchas situaciones, proporcionan información sobre el comportamiento de los alimentos cuando se manipulan, procesan o comen. Como tal, imitan nuestra interacción con los alimentos de una manera práctica.

Tabla 34. Análisis de varianza de textura instrumental

FV	Punción	Compresión	Corte v	Corte Guillotina
	F-valor	F-valor	F-valor	F-valor
Tratamientos	252,85**	21,34**	163,71**	210,39**
CV (%)	14,042	7,40	6,72	3,92

En la siguiente tabla de análisis de varianza de la textura instrumental se encuentra que todos los valores obtenidos por medio de los análisis instrumentales fueron altamente significativos dentro del experimento con lo que podemos concluir que todas las variables estudiadas influenciaron en la textura final del producto por esta razón se realizó una prueba de Tukey para determinar los mejores tratamientos por medio de los rangos establecidos.

La tabla 35 se puede observar la influencia de los tratamientos sobre la variable de textura instrumental.

Tabla 35 Tukey ($p \leq 0.05$) de los atributos de textura instrumental del producto extruídos

Tratamiento	Compresión	Punción	Corte Guillotina	Corte V
T1	43,3 ± 1,69 b	11,63 ± 1,22 c	35,55 ± 1,98 f	24,78 ± 1,45 d
T2	43,28 ± 1,40 b	4,4 ± 0,66 ab	17,83 ± 1,12 b	17,08 ± 1,27 b
T3	43,86 ± 1,59 b	7,97 ± 0,97 c	20,38 ± 1,92 c	20,78 ± 1,27 c
T4	43,27 ± 1,3 b	11,95 ± 1,44 c	29,79 ± 1,94 e	28,18 ± 1,56 e
T5	36,37 ± 1,49 a	5,05 ± 0,99 a	14,98 ± 0,92 a	14,36 ± 1,59 a
T6	42,15 ± 1,87 b	4,05 ± 1,06 a	17,66 ± 1,43 b	15,35 ± 1,44 ab
T7	43,65 ± 0,47 b	7,58 ± 0,70 b	22,2 ± 1,69 c	23,06 ± 1,12 d
T8	43,64 ± 0,37 b	4,95 ± 1,37 b	25,11 ± 1,87 d	24,41 ± 1,3 d
Testigo	40,68 ± 0,34 b	2,91 ± 0,47 a	12,28 ± 1,2 a	12,45 ± 1,02 a

La tabla 35 muestra el análisis de Tukey ($p \leq 0.05$) donde se puede observar que los mejores tratamientos obtenidos en la variable de textura instrumental donde se observa que los tratamientos T5 y T6 resultaron ser los mejores tratamientos obteniendo rangos de a, ab, b siendo estos los mejor puntuados mediante este análisis por el contrario los tratamientos que

obtuvieron menores rangos por lo tanto fueron los peores son el tratamiento T1 obteniendo rangos desde b hasta f y el T4 obteniendo rangos desde b hasta e considerándose los dos tratamientos como los peores puntuados en textura instrumental.

4.6.2 Correlación radial de textura instrumental

La figura 35 muestra la correlación existente entre los tratamientos y las variables: compresión, punción, corte v y corte guillotina obtenidos por medio de las sondas en el texturometro.

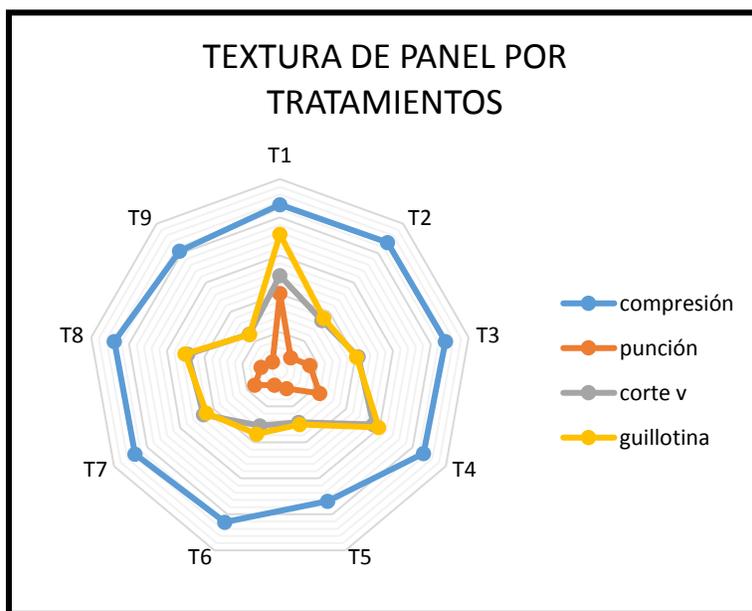


Figura 49 Grafico radial de textura instrumental

En la siguiente grafica se observa la correlación existente entre los parámetros medidos en el Texturómetro correlacionadas con los tratamientos donde podemos observar que el tratamiento 1 tiene mejor afinidad con todos los parámetros observados por ende este tratamiento fue el que necesito de mayo fuerza para la compresión, la punción y los cortes en el snack. En el caso de la compresión se observa que el tratamiento 5 necesito menos fuerza para comprimir por completo el snack por otro lado los demás tratamientos se mantuvieron con una misma fuerza constante para su compresión

En el caso del corte en v y corte guillotina presentaron características similares necesitando más mismas fuerzas, con una diferencia en el T1 necesitando mayor fuerza para el corte guillotina

4.6.3 Análisis sensorial de la textura en el snack

La textura sensorial se define como "la manifestación sensorial y funcional de las propiedades estructurales, mecánicas y superficiales de los alimentos detectados a través de los sentidos de la visión, el oído y la cinestésica". De esta definición queda claro que la percepción de textura tiene un aspecto multisensorial. De cada uno de los sentidos involucrados en la generación de atributos de textura, son los sentidos asociados con la kinestésica, el tacto y la presión, los principales contribuyentes a la percepción de textura. Los cambios relacionados con la edad que ocurren en cualquiera de los sentidos identificados pueden tener un efecto en la percepción de la textura (Chen & Rosenthal, 2016).

Tabla 36. Análisis de varianza de textura descriptiva

FV	Dureza	Crujencia	R.ruptura	Adherencia
	F-valor	F-valor	F-valor	F-valor
Tratamientos	28,45**	29,84**	68,084**	74,16**
CV (%)	11,75	11,78	11,11	11,72

Los resultados encontrados en el análisis de varianza de la textura descriptiva (Tabla 36), mostraron significancia en todos los tratamientos, por lo tanto se aplicó la prueba de rango múltiple Tukey ($p \leq 0.05$).

Tabla 37 Rangos Tukey ($p \leq 0.05$) de los atributos de textura sensorial del producto extruido

Tratamiento	Dureza	Crujencia	Resistencia a la ruptura	Adherencia
T1	5,35 ± 0,63 c	5,35 ± 0,63 c	4,95 ± 0,50 b	5,40 ± 0,26 a
T2	4,1 ± 0,88 ab	4,05 ± 0,83 ab	3,75 ± 0,42 a	5,45 ± 0,48 a
T3	5,45 ± 0,44 c	5,45 ± 0,44 c	3,2 ± 0,42 a	3,65 ± 0,58 bc
T4	5,5 ± 0,53 c	5,5 ± 0,53 c	6 ± 0,33 c	2,85 ± 0,48 d
T5	3,50 ± 0,53 a	3,45 ± 0,55 a	3,2 ± 0,35 a	5,5 ± 0,47 a
T6	3,55 ± 0,5 ab	3,95 ± 0,53 a	3,75 ± 0,42 a	5,20 ± 0,63 a
T7	5,65 ± 0,47 c	5,65 ± 0,47 b	5,6 ± 0,52 bc	4,3 ± 0,61 b
T8	5,80 ± 0,37 cd	4,50 ± 0,37 b	5,6 ± 0,61 bc	2,9 ± 0,44 cd
Testigo	3,20 ± 0,34 a	3,28 ± 0,35 a	3,22 ± 0,63 a	5,25 ± 0,67 c

Las calificaciones otorgadas por los panelistas semi-entrenados, determinaron que el **testigo** (100% maíz) y los tratamientos con formulaciones de mezclas acondicionadas a 15% de humedad y extruidas a 140°C de temperatura, tuvieron mejores en características de dureza, crujencia y resistencia a la ruptura. Por esta razón al sustituir el contenido de maíz por zanahoria blanca y chocho las características de dureza, crujencia y resistencia a la ruptura aumentan mientras tanto la adherencia disminuye.

4.6.4 Correlación radial de textura sensorial

La figura 35 muestra la correlación existente entre los tratamientos y las variables: dureza, crocancia, resistencia a la ruptura y adherencia obtenidos mediante un panel entrenado de catadores.

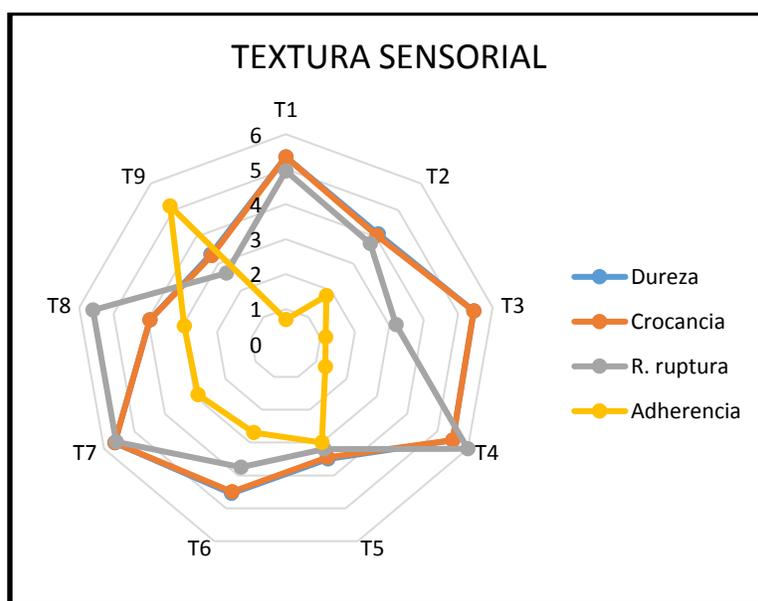


Figura 50 Textura sensorial

En la siguiente grafica se observa la correlación existente entre los obtenidos mediante un panel entrenado correlacionadas con los tratamientos donde se observar que el tratamiento 1 presenta una mayor dureza y resistencia a la ruptura, el tratamiento que presento mayor crocancia siendo el factor más importante la crocancia en los parámetros de textura sensorial

4.6.5 Correlación entre textura instrumental y descriptiva

El estudio de las posibles relaciones lineales entre pares de análisis sensoriales descriptivos e instrumentales de textura, se realizó mediante la prueba de correlación de Pearson, sabiendo que el índice de correlación (r) varía en un intervalo de -1 a 1, donde: valores positivos

cercanos a **1** representan una fuerte correlación entre las variables, es decir cuando una de ellas aumenta, la otra también lo hace en proporción constante; mientras que valores negativos cercanos a **-1** representan una fuerte correlación negativa entre las variables, es decir cuando una de ellas aumenta, la otra disminuye en proporción constante.

4.6.6 Correlación de Pearson

Tabla 38. Coeficientes de correlación entre las mediciones de textura sensorial e instrumental para los snacks extruidos.

	Dureza	Crujencia	Resistencia a la Ruptura	Adherencia
Compresión	0,656	0,660	0,532	-0,458
Corte Guillotina	0,672*	0,679*	0,768*	-0,721*
Corte en "V"	0,737*	0,747*	0,895**	-0,644
Punción	0,653	0,657	0,480	-0,711*

** . La correlación es altamente significativa ($P \leq 0.01$)

* . La correlación es significativa ($P \leq 0.05$)

En la tabla 38 se presenta los índices de correlación entre los valores de fuerza ejercidos por las pruebas instrumentales con las calificaciones de los atributos sensoriales de textura. Donde, se observa que entre la dureza y las pruebas de corte existe una correlación positiva significativa ($P \leq 0.05$). El coeficiente de correlación para la prueba de corte con una sonda en forma de "V" ($r = 0,737$) fue mayor que el de la prueba de corte de guillotina ($r = 0,672$). Asimismo, se observa que entre la Crujencia igualmente como en la sonda anterior la Crujencia correlaciona con las pruebas de corte siendo mayor la prueba de sonda de corte en "V" ($r = 0,747$). Por otro lado, las calificaciones de la resistencia a la ruptura se correlacionaron positivamente de manera significativa ($P \leq 0.05$) con los resultados de las pruebas de corte con sondas de guillotina con un coeficiente de correlación de 0,768, sin embargo, se obtuvo una correlación positiva altamente significativa ($P \leq 0.01$) con la prueba de corte en "V", con un coeficiente de correlación de 0,895, siendo esta última superior a las anteriores pruebas.

Además, la adherencia se correlacionó negativamente de manera significativa ($P \leq 0.05$) con las pruebas de corte con sondas en forma de Guillotina y de punción, con coeficientes de correlación de -0,721*-0,711*, respectivamente.

Leighton, Schonfeldt, & Kruger (2010) manifestó, que un coeficiente de correlación ≥ 0.70 indica una correlación bastante fuerte entre las variables de estudio.

En definitiva, el análisis de correlación de Pearson indica que los atributos de textura pueden ser determinados de forma segura mediante pruebas instrumentales de la siguiente manera: la dureza mediante las pruebas de corte con sondas de guillotina y en forma de “V”, en especial con esta última sonda; la resistencia a la ruptura mediante la prueba de la punción, y la adherencia mediante la prueba de compresión, debido a que los coeficientes de correlación obtenidos son superiores de 0,700.

4.6.7 Análisis de Componentes Principales

El análisis de componente principales (ACP), es una técnica que permite describir un conjunto de datos en términos de nuevos componentes (variables) en orden decreciente de acuerdo con su importancia, como también permite reducir la dimensionalidad de estos. Así, los primeros componentes principales describen la mayor parte de la varianza de los datos (más cuanto más correlacionadas estuvieran las variables originales).

En la Tabla 39 se presenta los componentes principales obtenidos y la variabilidad explicada para cada componente.

Tabla 39 Componentes principales obtenidos con su respectiva variabilidad explicada

Componentes	Auto valores Iniciales		
	Total	Varianza (%)	Varianza Acumulada (%)
1	5,691	71,143	71,143
2	0,845	10,563	81,706
3	0,789	10,563	91,566
4	0,362	4,520	96,086
5	0,257	3,214	99,300
6	0,049	0,615	99,914
7	0,007	0,085	100,000
8	2,592E-05	0,000	100,000

El análisis de componentes principales de las pruebas de textura sensorial e instrumentales, agrupo 3 componentes los cuales explicaron el 71,143%,10,563% y el 10,563% de la variación observada (91,566% variacion total)

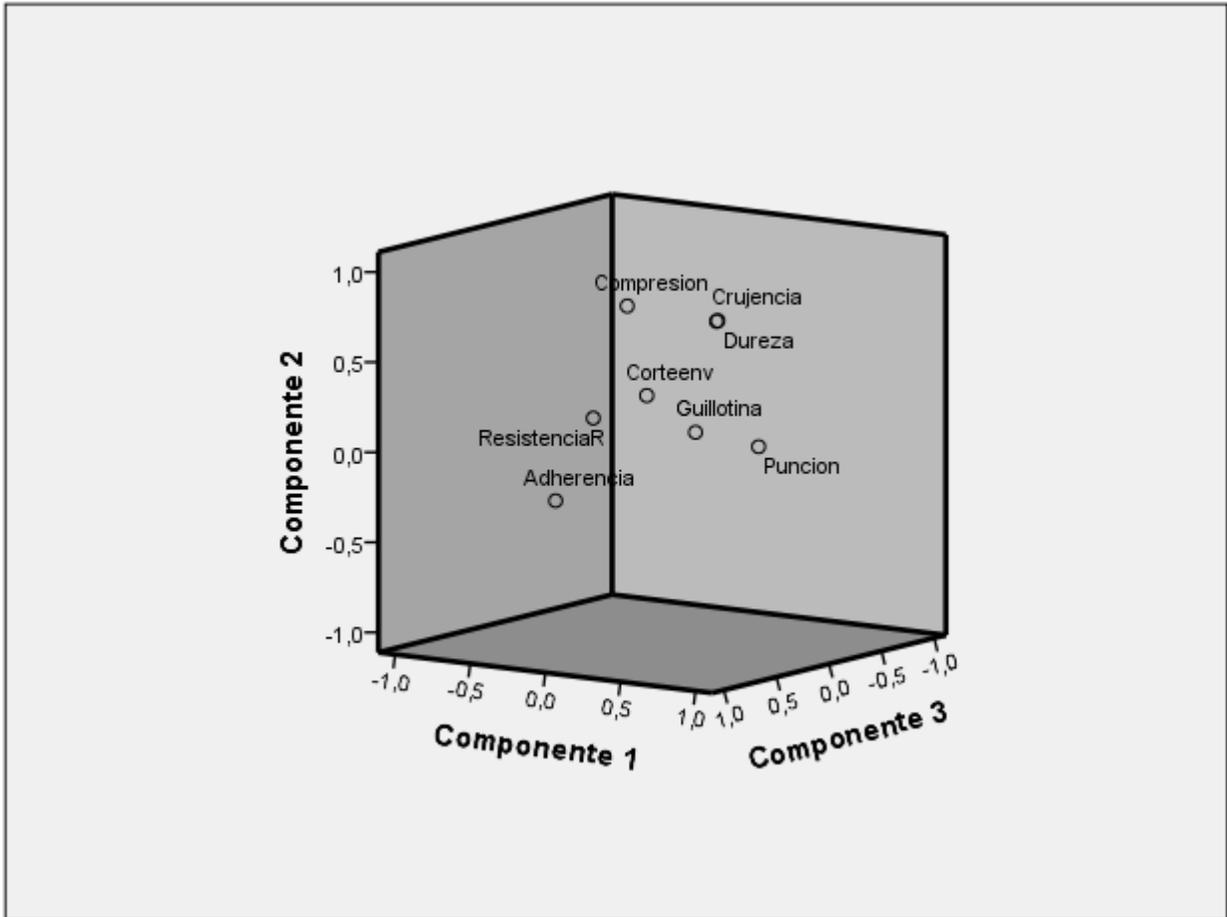


Figura 51 Diagrama de dispersión tridimensional de los componentes principales

Tabla 40. Matriz de componentes rotados

	Componente		
	1	2	3
Compresión		0,824	
Corte en v			0,768
Guillotina	0,688		0,666
Punción	0,887		
Dureza		0,770	
Crujencia		0,768	
Resistencia R			0,912
Adherencia	-0,797		

En la Figura 46 y la Tabla 40, se presentan los componentes principales obtenidos, con sus respectivos atributos sensoriales o pruebas instrumentales. Se observa al atributo de textura

sensorial (adherencia con una significancia negativa) y las pruebas instrumentales de punción y corte de guillotina constituyen el primer componente, mientras la prueba de compresión y los atributos de textura sensorial, dureza y crujencia, constituyeron el segundo componente. Por otro lado, las pruebas de corte con forma de "V" y guillotina, junto con la resistencia a la ruptura ayudaron a explicar la varianza del tercer componente. Estos resultados muestran que las fuerzas instrumentales derivadas de las pruebas de corte presentan una correlación más fuerte con los atributos sensoriales de crujencia y dureza.

4.6.8 Aceptabilidad sensorial

La evaluación sensorial es una disciplina científica utilizada para evocar medir analizar y Interpretar las reacciones a esas características de los alimentos y materiales tal como son percibido por los sentidos de la vista el olfato el gusto el tacto y el oído (Herbert Stone, Rebecca N. Bleibaum, 2012).

Tabla 41 Resultados de la Evaluación sensorial

Tratamientos	Atributos Sensoriales			
	COLOR	OLOR	TEXTURA	SABOR
T1	6,47 ± 0,86 ^d	4,77 ± 0,88 ^{de}	4,43 ± 0,65 ^a	5,03 ± 0,84 ^{cd}
T2	4,72 ± 0,71 ^{bc}	4,15 ± 0,87 ^e	2,93 ± 0,80 ^{bc}	3,35 ± 0,87 ^{bc}
T3	5,52 ± 0,76 ^{cd}	6,48 ± 0,76 ^{cd}	4,05 ± 1,03 ^d	3,68 ± 0,71 ^{cd}
T4	3,88 ± 0,79 ^d	4,75 ± 0,73 ^{bc}	7,57 ± 0,90 ^d	5,17 ± 0,68 ^d
T5	2,52 ± 0,72 ^b	3,62 ± 0,91 ^e	2,62 ± 1,18 ^c	3,23 ± 0,95 ^a
T6	4,42 ± 0,75 ^b	3,73 ± 0,64 ^{bc}	3,10 ± 0,79 ^c	3,58 ± 0,80 ^b
T7	4,4 ± 0,87 ^d	4,50 ± 0,52 ^{ab}	5,42 ± 0,75 ^b	7,6 ± 0,56 ^{cd}
T8	4,08 ± 1,01 ^b	4,00 ± 0,84 ^e	5,88 ± 0,94 ^c	4,35 ± 1,06 ^{cd}
Testigo	4,73 ± 0,40 ^a	4,35 ± 0,72 ^a	4,47 ± 0,62 ^a	4,50 ± 0,65 ^a
Fr	90,102 ^{**}	66,78 ^{**}	125,73 ^{**}	115,20 ^{**}

La evaluación sensorial se realizó con 30 degustadores, quienes, con la ayuda de sus sentidos, identificaron la percepción de color, olor, sabor, textura y aceptabilidad en la ficha de respuesta del análisis sensorial. Mediante la prueba no paramétrica de Friedman se tabularon y analizaron los resultados, comparando entre los resultados calculados del chi cuadrado X² de los tratamientos con el tabular al ($\alpha > 0.05$) de nivel de significancia.

- **Color**

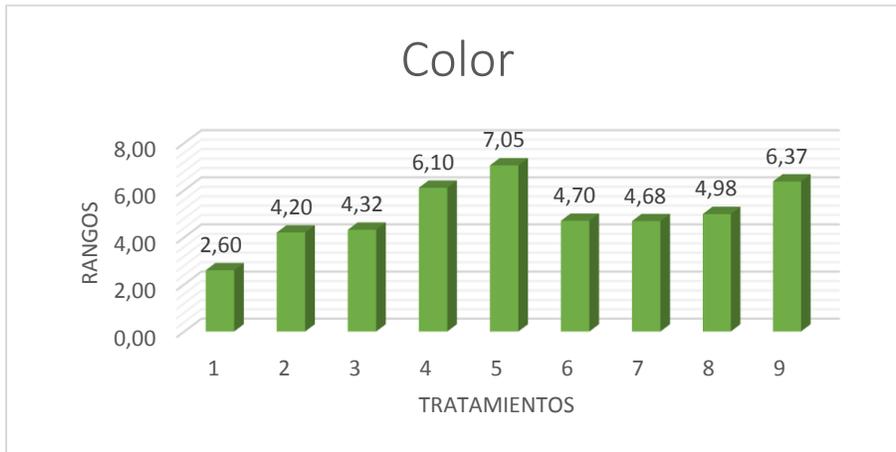


Figura 52 Puntuaciones de color en snacks extruidos

La prueba de Friedman al ($\alpha > 0.05$) para el atributo de color, presentó diferencia estadística significativa para todos los tratamientos, este resultado permitió demostrar que los degustadores detectaron una diferencia de color entre los tratamientos determinando que el mejor tratamiento es el T5 comparado con el tratamiento T9 que es el testigo en el experimento.

- **Olor**



Figura 53 Puntuaciones de Olor en snacks extruidos

De acuerdo con la **Figura 53**, la prueba de Friedman al ($\alpha > 0.05$) para el atributo de olor se evidencio diferencia estadística significativa, es decir, que los degustadores percibieron que el T5 es el mejor entre los tratamientos y el testigo.

- **Textura**



Figura 54 Puntuaciones de Textura en snacks extruidos

En la, conforme a la prueba de Friedman 5% del atributo de textura presentó diferencia estadística significativa para todos los tratamientos, destacándose con mayor puntuación de textura el T5, este resultado fue debido principalmente por la diferencia de las materias primas utilizadas para extrusión del snack.

- **Sabor**



Figura 55 Puntuaciones de Sabor en snacks extruidos

Con respecto a la **Figura 55**, la prueba de Friedman al 5% para el atributo de sabor si presentó un efecto estadístico significativo entre todos los tratamientos. En el cual T5 obtuvo el valor

más alto, y posteriormente seguido por el testigo que fue el más aceptado por el grupo de degustadores y el cual gustaron del sabor ideal de un extruido.

4.6.9 Análisis complementarios

4.6.1 Análisis de digestibilidad de la proteína

A partir del resultado de los análisis fisicoquímicos, funcionales, perfil de textura y aceptabilidad sensorial, se determinó a los tres mejores tratamientos, los cuales fueron: **T2** (70% maíz +15% chocho +15% zanahoria blanca; 15% humedad de la mezcla; 140°C), **T5**, (80% maíz +10% chocho +10% zanahoria blanca; 15% humedad de la mezcla; 110°C) y **T6** (80% maíz +10% chocho +10% zanahoria blanca; 15% humedad de la mezcla; 140°C), a los cuales se procedió a realizar el análisis de digestibilidad de la proteína.

La **Tabla 42** muestra la digestibilidad de la proteína en los mejores tratamientos y testigo, determinando al tratamiento **T5** (80% maíz +10% chocho+10 % zanahoria blanca; 15% humedad de la mezcla; 110°C) como el más digerible con un 83,29%.

Tabla 42. Análisis de la digestibilidad de la proteína de los productos extruidos

Tratamientos	Digestibilidad de la proteína
T2	88,44 %
T5	83,29 %
T6	84,69 %
Testigo	82,76 %

La digestibilidad se considera el determinante más importante de la cantidad de las proteínas en adultos. El valor nutricional de las proteínas vegetales suele mejorarse gracias a las condiciones de cocción por extrusión dándose así en el producto un aumento en la digestibilidad(Arêas et al., 2016). En general las condiciones de cocción por extrusión promueven la disociación desnaturalización orientación y reticulacion de proteínas nativas de las materias primas a la salida del equipo(Arêas, Rocha-Olivieri, & Marques, 2016).

4.6.2 ANÁLISIS DE AMINÓACIDOS

El análisis de perfil de aminoácidos se realizó al tratamiento: **T5** (80% maíz +10% chocho+10% zanahoria blanca; 15% humedad de la mezcla; 110°C), ya que, en la mayoría de los análisis realizados, fue el mejor al ubicarse en el rango **a** de la prueba de Tukey al 5%.

Tabla 43. Contenido de aminoácidos del mejor tratamiento (T5)

Aminoácidos	g AA/100g de muestra
Ácido Aspártico	0,78
Ácido Glutámico	2,77
Serina	1,57
Histidina	0,77
Treonina	0,51
Glicina	0,32
Arginina	0,55
Alanina	0,19
Tirosina	1,31
Triptófano	0,00
Valina	0,38
Metionina	0,14
Fenil alanina	0,45
Isoleucina	0,38
Leucina	0,88
Lisina	0,30
Aminoácidos totales	11,29

Laboratorio Analítico Excelencia Química UBA

El chocho es un alimento rico en el aminoácidos esenciales como la lisina; sin embargo, tiene desventajas al no poseer todos los aminoácidos en las cantidades adecuadas, al tener una deficiente concentración de metionina, por esta razón, al ingerir simultáneamente mezclas de alimentos de origen vegetal, como cereales y leguminosas los aminoácidos esenciales aumentan su calidad al complementarse entre sí obteniendo una proteína de alto valor biológico ((Cadena Maldonado & Yáñez Sotomayor, 2010).

CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Las propiedades nutricionales de las materias primas como son gritz de maíz, chochó y zanahoria blanca se encuentran dentro de la norma NTE INEN 2051 también Las mezclas obtenidas mediante maíz, chocho y zanahoria blanca se encuentran dentro de las normas NTE INEN:3084 (2015) de mezclas alimenticias.
- Las mezclas de gritz de maíz, chocho y zanahoria blanca en dos niveles (70/15/15; 80/10/10), presentaron mayor contenido nutricional, con respecto a la composición del testigo (100% maíz) gracias a que los cultivos andinos como la zanahoria blanca y principalmente el chocho aportan proteína, fibra, extracto etéreo y cenizas al snack extruido.
- Los factores que mostraron mayor efecto en las variables fisicoquímicas fueron la humedad de la mezcla y temperatura de extrusión, ya que al tener niveles bajos de humedad (15%) y óptimos para una correcta gelatinización y mayor temperatura (140°C) el snack presento mayores de porcentajes de proteína, fibra y cenizas en comparación con el testigo esto dado .
- Los resultados obtenidos del panel semi-entrenado determinaron que el contenido de humedad de la mezcla y la temperatura de extrusion tuvieron mayor efecto sobre los atributos de textura como son dureza, crujencia, resistencia a la ruptura; siendo humedad de 15% y temperatura de 140°C los óptimos para obtener snacks de mejores características organolépticas.

- Se determinó que al aumentar chocho y la zanahoria blanca en la mezcla los niveles de adherencia disminuyeron en el producto final, por otro lado, se redujo la expansión del producto final.
- Al realizar el análisis de correlación de Person y componentes principales entre la textura sensorial descriptiva y las pruebas de textura instrumental se determinó que las características de dureza y crujencia se puede medir con la sonda de compresión.
- Las materias primas como la zanahoria y principalmente el chocho aumentaron la concentración de proteínas en las mezcla y producto final mejorando así su biodisponibilidad.
- En el análisis de aceptabilidad sensorial se concluye que los tratamientos que tienen mayor cantidad de maíz en sus formulaciones tuvieron mayor grado de aceptación por parte de los degustadores, observándose que el tratamiento T5 (80% maíz+ 10% chocho+ 10% zanahoria blanca) obtuvo una mayor valoración en los atributos de sabor y textura.

5.2 Recomendaciones

- Se debería controlar las condiciones de operación que afectan significativamente las propiedades nutricionales y de textura en el producto final.
- Se recomienda que se utilice leguminosas como el chocho con una sustitución de hasta el 10% ya que el contenido de proteína y la temperatura de la cámara de extrusion no debe pasar los 200°C como máximo ya que afecta la expansión del producto y sus propiedades nutricionales.
- Utilizar temperaturas con rangos de 110°C a 140°C siendo estas óptimas para no modificar la calidad del almidón y la calidad de las proteínas dentro de la cámara de extrusion.
- Se debe realizar análisis físico químico de las materias primas para conocer los porcentajes de nutrientes que pueden afectar en el proceso de extrusion.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adekola, K. A. (2015). Influence of food extruder die dimensions on extruded products expansion. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 17(1), 255–263.
- Adekola, K. A. (2016). Engineering Review Food Extrusion Technology and Its Applications, 6, 149–168. <https://doi.org/10.17265/2159-5828/2016.03.005>
- Aguado, M. A., & Gil, P. F. (2006). leguminosas, 1–13.
- Ainsworth, P. (2004). Expansion characteristics of a nutritious extruded snack food using response surface methodology, 474–479. <https://doi.org/10.1007/s00217-004-0884-7>
- Ajita, T., & Jha, S. K. (2017). Extrusion cooking technology: Principal mechanism and effect on direct expanded snacks – An overview. *International Journal of Food Studies*, 6(1), 113–128. <https://doi.org/10.7455/ijfs/6.1.2017.a10>
- Alam, M. S., Kaur, J., Khaira, H., & Gupta, K. (2015). Extrusion and Extruded Products: Changes in Quality Attributes as Affected by Extrusion Process Parameters: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(3), 445–473. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.779568>
- Altan, M., & Maskan, A. (2012). *Advances in Food Extrusion Technology*. *Malaysian Journal of Microbiology* (Vol. 13). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Anton, A. A., & Luciano, F. B. (2009). INSTRUMENTAL TEXTURE EVALUATION OF EXTRUDED SNACK FOODS : A REVIEW EVALUACIÓN INSTRUMENTAL DE TEXTURA EN ALIMENTOS EXTRUIDOS : UNA REVISIÓN, (February 2015), 37–41. <https://doi.org/10.1080/11358120709487697>
- Areas, J. A. G., Olivieri, C., Marques, S., Sa, U. De, & Paulo, S. (2016). La cocción por extrusión : cambios químicos y Nutricional, 569–580.
- Arêas, J. A. G., Rocha-Olivieri, C. M., & Marques, M. R. (2016). Extrusion Cooking: Chemical and Nutritional Changes. *Encyclopedia of Food and Health*, 569–575. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00266-X>
- Barrera, V. (2004). *Raíces y tubérculos andinos : alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador*. Retrieved from https://books.google.com.co/books?id=wu-b2_m8WVYC
- Beltrán, M., & Marcilla, A. (2012). Extrusión. *Tecnología de Polímeros*, 102–167. Retrieved from <http://iq.ua.es/TPO/Tema4.pdf>
- BeMiller, J., & Whistler, R. (2009). *Starch Chemistri and Tecnology*.
- Berk, Z. (2018). Extrusion Food Process Engineering and Technology. *Springer Series in Materials Science*, 264, 599–646. https://doi.org/10.1007/978-981-10-7209-3_13
- Betancur, D., & Casotto, M. (2007). de harinas de maíz y frijol lima Efecto de la extrusión sobre la biodisponibilidad de proteína y almidón en mezclas de harinas de maíz y frijol lima, (September).
- Bordoloi, R., & Ganguly, S. (2014). Extrusion Technique in Food Processing and a Review on Its Various Technological Parameters. *J. Sci. Res. and Tech*, 2(1), 1. Retrieved from <http://www.indjsrt.com>

- Bouvier, J.-M., & Campanella, O. H. (2014). *Extrusion Processing Technology*.
<https://doi.org/10.1002/9781118541685>
- C. Pérez-Navarrete, R. H. Cruz, Estrada, L. Chel-Guerrero, D. B.-A. (2006).
 CARACTERIZACION FISICA DE EXTRUDIDOS PREPARADOS CON MEZCLAS DE
 HARINAS DE MAIZ QPM (*Zea mays* L.) Y FRIJOL LIMA (*Phaseolus lunatus* L.)
 PHYSICAL. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, Vol. 5, 145–155.
- Cadena Maldonado, C. D., & Yáñez Sotomayor, S. X. (2010). Elaboración de un snack extruido
 expandido: a base de chocho y gritz de maíz, 1–172.
- Cardona, M. G., Sorza, J. D., Posada, S. L., Carmona, J. C., Ayala, S. A., & Álvarez, O. L. (2002).
 Establecimiento de una base de datos para la elaboración de tablas de contenido nutricional de
 alimentos para animales. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 15(2), 240–246.
 Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=3242962>
- Carrasco, R., Pilco, J. J., & Zelada, C. R. (2011). Desarrollo y elaboración de un snack extruido a
 partir de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y maíz (*Zea mays* L.).
- Castell, I. (2016). BASE A LEGUMBRES Y CEREALES ECOLÓGICOS INDICADO PARA
 ALGUNAS INTOLERANCIAS ”, 2015–2016.
- Cerón-fernandez, C. L., Guerra-morcillo, L. V., & Legarda-, J. A. (2016). CARACTERÍSTICAS
 FÍSICO-QUÍMICAS (*Chenopodium quinoa* Willd) EFFECT OF EXTRUSION ON THE
 PHYSICO-CHEMICAL CHARACTERISTICS OF QUINOA FLOUR (*Chenopodium quinoa*
 Willd) EFEITO DA EXTRUSÃO SOBRE AS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS (*Chenopodium quinoa*
 Willd), 14(2), 92–99. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)92-99](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)92-99)
- Chandrasekara, A., & Josheph Kumar, T. (2016). Roots and tuber crops as functional foods: A
 review on phytochemical constituents and their potential health benefits. *International Journal
 of Food Science*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/3631647>
- Cheftel, J. C. (1986). Nutritional Effects of Extrusion-Cooking *. *Food Chemistry*, 20, 263–283.
- Chen, J., & Rosenthal, A. (2016). *Modifying Food Texture. Modifying Food Texture*.
<https://doi.org/10.1016/c2014-0-02669-x>
- Correa León, B., Leon Camposano, J., & Pionce Camba, J. (2008). ESCUELA SUPERIOR
 POLITÉCNICA DEL LITORAL Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
 Producción, 108. Retrieved from <https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/19134>
- Cuestas, S. Yi. S. (2018). CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y PROPIEDADES
 FUNCIONALES DEL ALMIDÓN DE ARRACACHA (*Arracacia xanthorrhiza*)
 MODIFICADO POR IRRADIACIÓN UV-C., 2018.
<https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2004.3.66178>
- Ding, Q., Ainsworth, P., Tucker, G., & Marson, H. (2005). The effect of extrusion conditions on the
 physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks, 66,
 283–289. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.03.019>
- Drago, S. R., Velasco-González, O. H., Torres, R. L., González, R. J., & Valencia, M. E. (2007).
 Effect of the extrusion on functional properties and mineral dialyzability from *Phaseolus*
Vulgaris bean flour. *Plant Foods for Human Nutrition*, 62(2), 43–48.
<https://doi.org/10.1007/s11130-006-0033-5>
- Espín, S., Villacrés, E., & Brito, B. (2004). Caracterización Físico - Química , Nutricional y

Funcional de Raíces y Tubérculos Andinos. *Raíces y Tubérculos Andinos: Alternativas Para La Conservación y Uso Sostenible En El Ecuador*, 91–116. Retrieved from <http://www.monitoreoevaluacion.info/biblioteca/files/original/f1ce784ad56186d4fbec1a60f9e8e757.pdf#page=102>

- García, A., Pacheco-Delahaye, E., Tovar, J., & Pérez, E. (2009). CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y FUNCIONAL DE LAS HARINAS DE ARRACACHA (Arracacia xanthorrhiza) PARA SOPAS INSTANTÁNEAS PHYSICOCHEMICAL AND FUNCTIONAL CHARACTERIZATION OF THE ARRACACHA (Arracacia xanthorrhiza) FLOURS FOR INSTANT SOUPS . *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 5(5), 384–393. <https://doi.org/10.1080/11358120709487717>
- Gharibzahedi, S. M. T., & Jafari, S. M. (2017). The importance of minerals in human nutrition: Bioavailability, food fortification, processing effects and nanoencapsulation. *Trends in Food Science and Technology*, 62, 119–132. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.02.017>
- Godoy, L. M. V. (2013). Elaboración de una mezcla alimenticia a base de Chocho y Maíz , que contribuya a mejorar el Estado Nutricional de los niños y niñas menores de 5 años de los Barrios San Vicente , La Loma , Sagrado Corazón , Cochaloma , San Pedro , de la comunidad de Canga, 19.
- Guido, A. (2006). Aporte de los cultivos andinos a la nutrición humana. *RAICES ANDINAS Contribuciones Al Conocimiento y a La Capacitación*, 1, 12. <https://doi.org/ISNB: 92-9060-233-3>
- Gulati, P., Weier, S. A., Santra, D., Subbiah, J., & Rose, D. J. (2016). Effects of feed moisture and extruder screw speed and temperature on physical characteristics and antioxidant activity of extruded proso millet (*Panicum miliaceum*) flour. *International Journal of Food Science and Technology*, 51(1), 114–122. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12974>
- Guy, R. (2001). *Extrusion cooking*. Woodhead Publishing Limited.
- Guy, R. C. E. (2015). *Extrusion Technologies. Encyclopedia of Food Grains: Second Edition* (2nd ed., Vol. 3–4). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-394437-5.00144-3>
- Herbert Stone, Rebecca N. Bleibaum, H. A. T. (2012). Introduction to Sensory Evaluation 1. *Food Science and Technology*, 1–21. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382086-0.00001-7>
- Hernandez-Alarcon, E. (2005). Evaluacion sensorial. *Facultad De Ciencias Basicas E Ingenieria*, 64.
- Huamán, N., Edquén, O., & Vásquez, P. (2013). Almidones de tubérculos y raíces andinas y su calidad.
- Ilo, S., Schoenlechner, R., & Berghofe, E. (2000). Role of lipids in the extrusion cooking processes. *Grasas Y Aceites*, 51(1–2), 97–110. <https://doi.org/10.3989/gya.2000.v51.i1-2.410>
- INIAP. (2006). CHOCHO (*Lupinus mutabilis* sweet) ALIMENTO ANDINO REDESCUBIERTO, 1–19.
- Janssen Leon, & Moscicki Leszek. (2009). *Thermoplastic Starch*.
- Jin, Z. (2018). *Functional Starch and Applications in Food. Functional Starch and Applications in Food*. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-1077-5>
- Joy de acero, C. J., Vernaza, M. G., Schmiele, M., Ferreira, E. R., & Chang, K. Y. (2002). La

- extrusión termoplástica in Food Processing, (2001).
- Justo, O., & Pérez, W. (2006). Tecnología de extrusión en alimentos, *16*(3), 78–87.
- Kilcast, D. (2013). *Instrumental Assessment of Food Sensory Quality*.
<https://doi.org/10.1533/9780857098856.frontmatter>
- Kress-Rogers, E., & Brimelow, C. J. B. (2001). *Instrumentation and sensors for the food industry*.
Woodhead Publishing Limited (Vol. segundo).
- Kurt A, rosenrater A.D, E. (2018). *KENT'S TECHNOLOGY OF CEREALS*.
- LASSA, L. M. S. (2008). Evaluación de las Propiedades Físicas y Disponibilidad de Minerales de Expandidos Fortificados, Elaborados en Base a Maíz y Soja.
- Leighton, C. . S., Schonfeldt, H. C., & Kruger, R. (2010). DIFFERENT CULTIVARS OF SWEET POTATO TO DETERMINE SENSORY AND TEXTURAL PROFILES, *25*, 2–18.
<https://doi.org/10.1111/j.1745-459X.2008.00188.x>
- LIZANO, E. M. P. (2014). PROYECTO PARA LA CREACIÓN DE UNA EMPRESA QUE SE DEDIQUE A LA ELABORACIÓN Y COMERCIALIZACIÓN DE PRODUCTOS DERIVADOS DEL CHOCHO”, 561–565.
- Ma, C., Fan, Y., Wu, S., Zhang, Z., & Zhang, D. (2017). Analysis of the Complex Index of Extruded Corn Starch and Degermed Corn. *Journal of Food Research*, *6*(6), 56.
<https://doi.org/10.5539/jfr.v6n6p56>
- MAG. (2018). RENDIMIENTOS OBJETIVOS DE MAÍZ DURO ÉPOCA DE INVIERNO 2018 (Enero - Junio), 2017, 10. Retrieved from
http://sipa.agricultura.gob.ec/descargas/estudios/rendimientos/maiz/rendimiento_maiz_duro_invierno_2018.pdf
- Mancero, E. S. (2018). Sobre el desarrollo de mezclas de alimentos andinos aminoacídicamente completas de bajo costo para la alimentación infantil. *Revista Cubana de Alimentación y Nutrición*, *2*, 370–392.
- Medina, J., & Salas, J. (2008). Caracterización morfológica del granulo de almidón nativo: Apariencia, forma, tamaño y su distribución. *Revista de Ingeniería*, *27*, 56–62. Retrieved from
<http://www.scielo.org.co/pdf/ring/n27/n27a7.pdf>
- Moscicki, L., Mitrus, M., Wojtowicz, A., Oniszczyk, T., & Rejak, A. (2013). Extrusion-Cooking of Starch. *Advances in Agrophysical Research*, 320–346.
- Moscicki, M. (2011). *Extrusion-Cooking Techniques*. *Extrusion-Cooking Techniques*.
<https://doi.org/10.1002/9783527634088>
- Obradović, V., Babić, J., Šubarić, D., Ačkar, Đ., & Jozinović, A. (2014). Improvement of nutritional and functional properties of extruded food products. *Journal of Food and Nutrition Research*, *53*(3), 189–206.
- Ojokoh, A. O., Yimin, W., & Eromosele, O. S. (2015). Effect of some extrusion variables on fermented maize-soybean blend. *Journal of Food Science and Technology*, *52*(9), 5763–5771.
<https://doi.org/10.1007/s13197-014-1689-8>
- Pathak, N., & Kochhar, A. (2018). Extrusion Technology : Solution to Develop Quality Snacks for Malnourished Generation, *7*(01), 1293–1307.

- Perales, L., Rodríguez, P., Valero, T., Ruiz, E., Ávila, J. M., & Valera, G. (2017). Informe sobre Legumbres , Nutrición y Salud. *Fundacion Española de Nutrición*, 94.
- Phillips, G. ., & Williams, P. A. (2012). *Handbook of Food Proteins. International Journal of Dairy Technology* (Vol. 65). <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2012.00830.x>
- Ponce, K. A. (2015). Universidad técnica del norte.
- Rahman, R. A. (2009). Protein-starch interaction and their effect on thermal and rheological characteristics of a food system: A review. *Journal of Food, Agriculture and Environment*, 7(2), 169–174.
- Ramachandra, H. G., & Thejaswini, M. L. (2015). Extrusion Technology : A Novel Method of Food Processing, 2(4), 358–369.
- Riaz, M. N. (2000). *Extruders in food aplicaciones*.
- Riaz, M. N., & Rokey, G. J. (2015). *Extrusion problems solved Food, pet food and feed. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition: Number 226 Extrusion*. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-253-2.09001-0>
- Roca, T. S., Demiate, I. M., Mar, C., & Franco, L. (2008). arracacha (Arracada xanthorrhiza), 28(3), 620–628.
- Rojas, J. J. V. (2016). El cultivo de Tarwi (*Lupinus mutabilis Sweet*) en el Estado Plurinacional de Bolivia. *Revista Científica de Investigación INFO-INIAF*.
- Rokey, G. (1995). Tecnología de la extrusión e implicaciones nutricionales. *Sitio Argentino de Producción Animal*, 1–11.
- ROMO, T. E. (2012). Elaboración de un producto extruido tipo Snack, a base de maíz blanco (mote) para el consumo de la población infantil de la Parroquia Ñaquito en la Ciudad de Quito Trabajo.
- Salinas, N. (2011). Caracterización de snacks extruídos de ocumo-maíz enriquecidos con aceite de palma parcialmente refinado como ingrediente funcional Characterization extruded snacks of taro-corn enriched with partially refined palm oil as a functional ingredient. *An Venez Nutr*, 24(2), 72–77.
- Sanchez, B. (2015). CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y REOLÓGICA DE ALMIDÓN DE ARRACACHA (*Arracacia xanthorrhiza*) VARIEDAD AMARILLA PROCEDENTE DE LA PROVINCIA SAN IGNACIO-DEPARTAMENTO DE CAJAMARCA . INGENIERO AGROINDUSTRIAL AUTOR : Alayo Sánchez , Brenda Del Pilar . Ing . MsC, 68.
- Sánchez, I. (2014). Maíz I (*Zea mays*). *Reduca (Biología)*, 7(2), 151–171.
- Seth, D., Badwaik, L. S., & Ganapathy, V. (2015). Effect of feed composition, moisture content and extrusion temperature on extrudate characteristics of yam-corn-rice based snack food. *Journal of Food Science and Technology*, 52(3), 1830–1838. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1181-x>
- Singh, R. P., & Heldman, D. R. (2014). Extrusion Processes for Foods. *Introduction to Food Engineering*, 743–766. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-398530-9.00014-0>
- Sundarrajan, L. (2014). Effect of extrusion cooking on the nutritional properties of amaranth, quinoa, kañiwa and lupine, 98.

- Tamarit, Y. (2008). Caracterización de la textura sensorial e instrumental del camarón de cultivo *Litopenaeus vannamei* en la camaronera de Tu.
- Tapia, M. E., Fries, a M., Mazar, I., & Rosell, C. (2007). Agronomía de los cultivos andinos. *Guía de Campo de Los Cultivos Andinos (Field Guide to Andean Crops)*, 21–122. Retrieved from <http://www.fao.org/docrep/010/ai185s/ai185s04.pdf>
- Thejaswini, M. (2014). Development of Nutritious Ready To Cook Extruded Milk-Cereal Based Noodles Like Products.
- Torres, A., Durán, M., & Montero, P. (2013). Evaluación de las propiedades funcionales del almidón obtenido a partir de malanga (*Colocasia esculenta*). *Ciencias E Ingeniería Al Día*, 8(2), 29–38.
- Torres, J., González-Morelo, K., & Acevedo, D. (2015). Análisis del Perfil de Textura en Frutas, Productos Cárnicos y Quesos. *ReCiTeIA*, 14(2), 63–75.
- Valdivieso, M. B. S. (2011a). Produccion organica de cultivos andinos, 126.
- Valdivieso, M. B. S. (2011b). Producción Orgánica de Cultivos Andinos, 126.
- Villafuerte, U., Obispo, E. O., Santos T, M., & Macavilca, E. A. (2015). Elaboración de snack de maíz amarillo duro, 18(2), 73–77.
- Wrigley, C., Batey, I., & Miskelly, D. (2017). *Grains Cereal*. <https://doi.org/10.1533/9781845699529>
- Zazueta, J., Jacobo, N., Aguilar, E., Limón, V., & Camacho, I. (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_memoriaextenso/326.pdf

Anexos

ANEXO 1 Tablas DMS

HUMEDAD

Diferencia Media Significativa: interacción AB

Factor A	Factor B	Medias
A2	B1	6,02a
A1	B1	6,59b
A1	B2	8,24c
A2	B2	9,49d

Medias con letras iguales no son significativamente diferentes ($\alpha > 0.05$)

Prueba Diferencia media significativa para la interacción AC

Factor A	Factor C	Medias
A1	C1	7,06 ^a
A2	C2	7,67b
A1	C2	7,78bc
A2	C1	7,84c

Medias con letras iguales no son significativamente diferentes ($\alpha > 0.05$)

Prueba Diferencia media significativa para la interacción BC

Factor B	Factor C	Medias
B1	C2	6,14a
B1	C1	6,47b
B2	C1	8,43c
B2	C2	9,3d

Medias con letras iguales no son significativamente diferentes ($\alpha > 0.05$)

GRASA

Diferencia Media Significativa: interacción AB

Factor A	Factor B	Medias
A1	B1	1,97 ^a
A1	B2	1,24 ^b
A2	B1	0,97 ^c
A2	B2	0,66 ^d

Medias con letras iguales no son significativamente diferentes ($\alpha > 0.05$)

Prueba Diferencia media significativa para la interacción BC

Factor B	Factor C	Medias
B1	C1	1,58 ^a
B1	C2	,36 ^b
B2	C2	1,02 ^c
B2	C1	0,88 ^d

Medias con letras iguales no son significativamente diferentes ($\alpha > 0.05$)

PROTEINA

Diferencia Media Significativa: interacción AB

Factor A	Factor B	Medias
A2	B2	13,05 ^a
A2	B1	13,09 ^a
A1	B1	14,64 ^b
A1	B2	17,22 ^c

Medias con letras iguales no son significativamente diferentes ($\alpha > 0.05$).

Prueba Diferencia media significativa para la interacción AC

Factor A	Factor C	Medias
A2	C1	12,72 ^a
A2	C2	13,42 ^b
A1	C2	15,45 ^c
A1	C1	16,41 ^d

Medias con letras iguales no son significativamente diferentes ($\alpha > 0.05$)

Factor B	Factor C	Medias
B1	C1	13,7 ^a
B1	C2	14,03 ^b
B2	C2	14,84 ^c
B2	C1	15,44 ^d

Medias con letras iguales no son significativamente diferentes ($\alpha > 0.05$)

CENIZAS

Diferencia Media Significativa: interacción AB

Factor A	Factor B	Medias
A2	B2	0,9 ^a
A2	B1	1,06 ^b
A1	B1	1,08 ^c
A1	B2	1,1 ^c

Medias con letras iguales no son significativamente diferentes ($\alpha > 0.05$)

Prueba Diferencia media significativa para la interacción AC

Factor A	Factor C	Medias
A2	C2	0,91 ^a
A2	C1	1,05 ^b
A1	C1	1,09 ^c
A1	C2	1,1 ^c

Medias con letras iguales no son significativamente diferentes ($\alpha > 0.05$)

Prueba Diferencia media significativa para la interacción BC

Factor B	Factor C	Medias
B2	C1	1 ^a
B2	C2	1 ^a
B1	C2	1,01 ^a
B1	C1	1,14 ^b

Medias con letras iguales no son significativamente diferentes ($\alpha > 0.05$)

FIBRA

Diferencia Media Significativa: interacción AB

Factor A	Factor B	Medias
A1	B1	0,68 ^a
A2	B1	1,34 ^b
A2	B2	1,4 ^c
A1	B2	1,57 ^d

Medias con letras iguales no son significativamente diferentes ($\alpha > 0.05$)

Prueba Diferencia media significativa para la interacción AC

Factor A	Factor C	Medias
A1	C2	1,09 ^a
A1	C1	1,16 ^b
A2	C2	1,2 ^c
A2	C1	1,54 ^d

Medias con letras iguales no son significativamente diferentes ($\alpha > 0.05$)

Prueba Diferencia media significativa para la interacción BC

Factor B	Factor C	Medias
B1	C1	0,91 ^a
B1	C2	1,11 ^b
B2	C2	1,18 ^c
B2	C1	1,79 ^d

Medias con letras iguales no son significativamente diferentes ($\alpha > 0.05$)

Carbohidratos

Prueba Diferencia media significativa para la interacción AC

Factor A	Factor C	Medias
A1	C1	73,68 ^a
A1	C2	74,46 ^b
A2	C2	76,43 ^c
A2	C1	76,44 ^c

Medias con letras iguales no son significativamente diferentes ($\alpha > 0.05$)

Prueba Diferencia media significativa para la interacción BC

Factor B	Factor C	Medias
B2	C2	72,82 ^a
B2	C1	73,04 ^a
B1	C1	77,07 ^b
B1	C2	78,08 ^c

Medias con letras iguales no son significativamente diferentes ($\alpha > 0.05$)

Índice de solubilidad de agua.

Diferencia Media Significativa: interacción AB

Factor A	Factor B	Medias
A2	B2	0,28 ^a
A1	B2	0,29 ^b
A1	B1	0,3 ^b
A2	B1	0,34 ^c

Medias con letras iguales no son significativamente diferentes ($\alpha > 0.05$)

Prueba Diferencia media significativa para la interacción AC

Factor A	Factor C	Medias
A1	C1	0,27 ^a
A2	C2	0,3 ^b
A2	C1	0,32 ^c
A1	C2	0,32 ^c

Medias con letras iguales no son significativamente diferentes ($\alpha > 0.05$)

Índice de absorción de agua.

Diferencia Media Significativa: interacción AB

Factor A	Factor B	Medias
A2	B1	4,93 ^a
A1	B2	5,26 ^b
A1	B1	5,43 ^c
A2	B2	5,46 ^c

Medias con letras iguales no son significativamente diferentes ($\alpha > 0.05$)

Prueba Diferencia media significativa para la interacción AC

Factor A	Factor C	Medias
A2	C1	5, 14 ^a
A1	C2	5, 2 ^a
A2	C2	5, 25 ^a
A1	C1	5,49 ^b

Medias con letras iguales no son significativamente diferentes ($\alpha > 0.05$)

Prueba Diferencia media significativa para la interacción BC

Factor B	Factor C	Medias
B1	C1	5, 18 ^a
B1	C2	5, 19 ^a
B2	C2	5, 27 ^a
B2	C1	5,45 ^b

Medias con letras iguales no son significativamente diferentes ($\alpha > 0.05$)

Índice de Expansión.

Diferencia Media Significativa: interacción AB

Factor A	Factor B	Medias
A1	B2	4, 1 ^a
A2	B2	4,16 ^b
A1	B1	4,17 ^b
A2	B1	4,46 ^c

Medias con letras iguales no son significativamente diferentes ($\alpha > 0.05$)

Prueba Diferencia media significativa para la interacción AC

Factor A	Factor C	Medias
A1	C1	4,02 ^a
A2	C2	4,25 ^b
A1	C2	4,26 ^b
A2	C1	4,37 ^c

Medias con letras iguales no son significativamente diferentes ($\alpha > 0.05$)

Prueba Diferencia media significativa para la interacción BC

Factor B	Factor C	Medias
B2	C1	4,07 ^a
B2	C2	4,19 ^b
B1	C1	4,31 ^c
B1	C2	4,32 ^c

Medias con letras iguales no son significativamente diferentes ($\alpha > 0.05$)

Densidad Parente.

Diferencia Media Significativa: interacción AB

Factor A	Factor B	Medias
A2	B1	0,29 ^a
A2	B2	0,39 ^b
A1	B2	0,42 ^c
A1	B1	0,46 ^d

Medias con letras iguales no son significativamente diferentes ($\alpha > 0.05$)

Prueba Diferencia media significativa para la interacción AC

Factor A	Factor C	Medias
A2	C1	0,33a
A2	C2	0,34a
A1	C2	0,4b
A1	C1	0,49c

Medias con letras iguales no son significativamente diferentes ($\alpha > 0.05$)

Prueba Diferencia media significativa para la interacción BC

Factor B	Factor C	Medias
B1	C2	0,31 ^a
B2	C1	0,38 ^b
B2	C2	0,43 ^c
B1	C1	0,43 ^c

Medias con letras iguales no son significativamente diferentes ($\alpha > 0.05$)

ANEXO 2. Proceso de Elaboración de productos extruidos expandidos

RECEPCIÓN DE MATERIA PRIMA



PESADO



Gritz de maíz



Gritz de chocho



Gritz de zanahoria blanca

MEZCLADO – ACONDICIONAMIENTO



Mezcla de gritz



Mezcla homogénea



Mezcla acondicionada

EXTRUSIÓN



Equipo: Extrusor



Proceso de extrusión



Producto extruido

ANEXO 3. PLANTILLA PARA EVALUAR LA TEXTURA DESCRIPTIVA CON PANELISTAS SEMI-ENTRENADOS



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

CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

Nombre: _____ Fecha: _____

EVALUACIÓN DE TEXTURA DESCRIPTIVA DE SNACKS ELABORADOS CON CEREALES, LEGUMINOSAS Y TUBÉRCULOS.

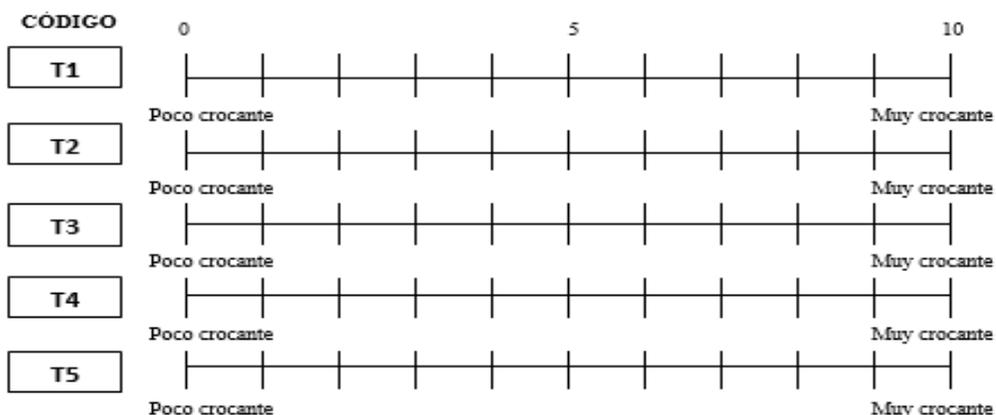
Instrucciones: Frente a usted se encuentra una muestra de snacks, de acuerdo a los atributos a evaluar, deguste y señale según su criterio con una línea vertical en las siguientes escalas.

ATRIBUTOS

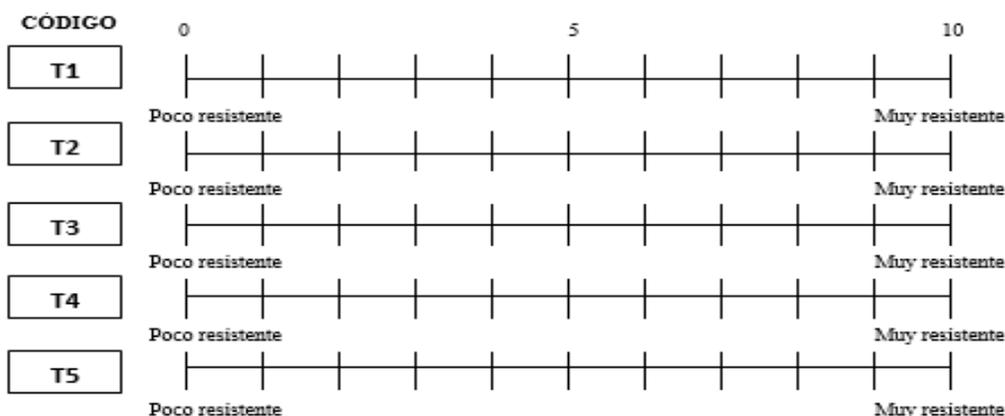
DUREZA

CÓDIGO	0		5					10
T1	----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- -----							
	Muy blando			Muy duro				
T2	----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- -----							
	Muy blando			Muy duro				
T3	----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- -----							
	Muy blando			Muy duro				
T4	----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- -----							
	Muy blando			Muy duro				
T5	----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- -----							
	Muy blando			Muy duro				

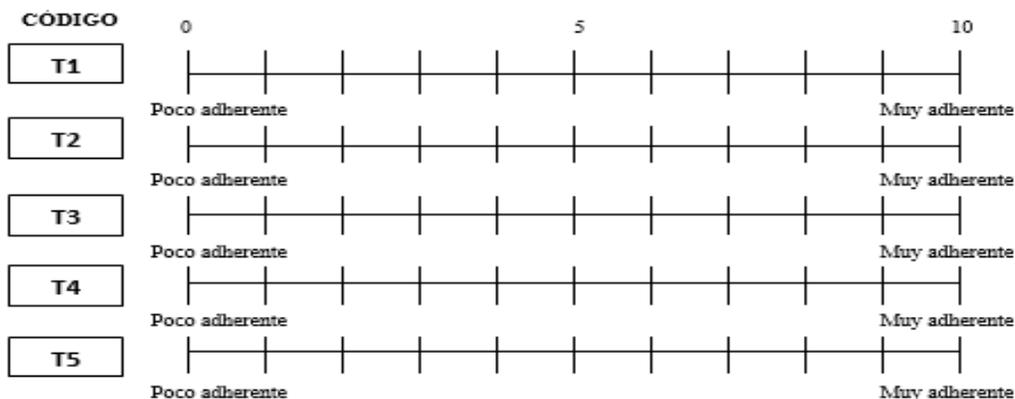
CRUJENCIA



RESISTENCIA A LA RUPTURA



ADHERENCIA



Observaciones

.....
.....

GRACIAS

ANEXO 4. PLANTILLA PARA EVALUAR EL ANÁLISIS DE ACEPTABILIDAD SENSORIAL DE LOS SNACKS EXTRUIDOS

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

Nombre: _____ Fecha: _____

EVALUACIÓN ORGANOLÉPTICA DE LA ELABORACIÓN DE UN SNACKS ELABORADO A PARTIR DE LA
MEZCLA DE GRITZ DE MAÍZ *Zea mays*, CHOCHO *lupinus mutabilis* Y Zanahoria blanca *Arracacia
xanthorriza*.

Instrucciones: Califique del 1 al 5 a cada una de las muestras, tomando en cuenta que: “1” es pésimo y “5” excelente, marque una (x) en el casillero que considere adecuada la respuesta.

CARACTERÍSTICAS		TRATAMIENTOS			
		T1	T2	T3	Testigo
Color	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
Olor	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
Textura	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
Sabor	1				
	2				
	3				
	4				
	5				

Observaciones:

ANEXO 6. NORMA INEN 2051: 1995 GRANOS Y CEREALES

Norma Técnica Ecuatoriana Obligatoria	GRANOS Y CEREALES. MAÍZ MOLIDO, SEMOLA, HARINA, CRITZ. REQUISITOS.	NTE INEN 2 051:1995 1995-09
<p style="text-align: center;">1. OBJETO</p> <p>1.1 Esta norma establece los requisitos que deben cumplir: el maíz entero molido, la sémola, harina, griz del maíz desgranado, para consumo humano, alimento zootécnico y uso industrial.</p> <p style="text-align: center;">2. ALCANCE</p> <p>2.1 Esta norma no se aplica a las, sémolas instantáneas, harinas y sémolas enriquecidas, harinas utilizarse como coadyuvantes de cervecería, y las destinadas a la fabricación de almidón, harinas precocidas.</p> <p style="text-align: center;">3. DEFINICIONES</p> <p>3.1 Aflatoxina. Grupo de metabolitos altamente tóxicos, producidos por algunas cepas de los hongos relacionados con el deterioro de los alimentos.</p> <p>3.2 Maíz molido infestado. Maíz molido que contiene insectos vivos en cualquiera de sus estados biológicos.</p> <p>3.3 Maíz dañado por hongos. Maíz que ha sufrido deterioro en su estructura debido a la acción de hongos.</p> <p>3.4 Maíz molido. Es el producto de la molturación del grano entero.</p> <p>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 molturación, en el que se tritura el grano hasta obtener un grado de finura, y eliminando gran parte del salvado y del germen.</p> <p>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 molturación, en el que se tritura el grano hasta obtener un grado de finura, y eliminando gran parte del salvado y del germen.</p> <p>3.7 Griz. Es el producto de la molturación del grano de maíz desgranado.</p> <p>3.8 Otras definiciones constan en la NTE INEN 2 050.</p> <p style="text-align: center;">4. REQUISITOS</p> <p>4.1 Maíz molido. Requisitos específicos.</p> <p>4.1.1 Se considera maíz en grano molido cuando el 100% de la masa (peso) total del producto molturado, no pasa a través del tamiz INEN 1,18 mm (ASTM número 16). NTE INEN 154.</p>		

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	METODO 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 μ m (25 ASTM).

4.2.2.2 *Harina de maíz*. Cuando mínimo el 98% del producto pase el tamiz de malla INEN 300 μ m (50 ASTM), ó mínimo el 50% del producto pase el tamiz de malla INEN 212 μ m (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 μ m (25 ASTM).

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

Requisito \ Producto	SÉMOLA	HARINA	GRITZ	MÉTODO DE ENSAYO
PROTEINA % 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 mesó filis	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.

ANEXO 7. NORMA INEN 3084:2015 MEZCLAS ALIMENTICIAS

Norma Técnica Ecuatoriana	MEZCLAS ALIMENTICIAS. REQUISITOS	NTE INEN 3084:2015
---------------------------------	----------------------------------	-----------------------

1. OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

Esta norma establece los requisitos que deben cumplir las mezclas secas para panadería, pastelería, galletería y repostería para consumo doméstico o industrial, que requieren un tratamiento posterior para su consumo.

2. REFERENCIAS NORMATIVAS

Los siguientes documentos normativos, en su totalidad o en parte, son referidos y son indispensables para su aplicación. Para referencias fechadas, solamente aplica la edición citada. Para referencias sin fecha, aplica la última edición del documento de referencia (incluyendo cualquier enmienda).

NTE INEN 712 *Cereales y productos de cereales. Determinación del contenido de humedad. Método de referencia.*

NTE INEN 1334-1 *Rotulado de productos alimenticios para consumo humano. Parte 1. Requisitos.*

NTE INEN 1334-2 *Rotulado de productos alimenticios para consumo humano. Parte 2. Rotulado nutricional. Requisitos.*

NTE INEN 1334-3 *Rotulado de productos alimenticios para consumo humano. Parte 3. Requisitos para declaraciones nutricionales y declaraciones saludables.*

NTE INEN 1529-10 *Control microbiológico de los alimentos. Mohos y levaduras viables. Recuentos en placa por siembra en profundidad.*

NTE INEN-CODEX 192 *Norma general del Códex para los aditivos alimentarios.*

NTE INEN-ISO 24333 *Cereales y productos de cereales. Toma de muestras.*

NTE INEN-ISO 2859-1 *Procedimientos de muestreo para inspección por atributos. Parte 1. Programas de muestreo clasificados por el nivel aceptable de calidad (AQL) para inspección lote a lote.*

NTE INEN-ISO 2859-2 *Procedimientos de muestreo para inspección por atributos. Parte 2. Planes de muestreo para las inspecciones de lotes independientes, tabulados según la calidad límite (CL).*

3. DEFINICIONES

Para los efectos de esta norma, se aplican las siguientes definiciones.

3.1 Mezcla alimenticia. Es el producto elaborado a partir de la mezcla de derivados deshidratados de cereales, aditivos alimentarios y otros ingredientes, que para su consumo deben ser previamente reconstituidos y someterse a procesos térmicos y mecánicos.

4. CLASIFICACIÓN

Las mezclas se clasifican de acuerdo a su composición de la manera siguiente:

a) A base de harina de trigo.

ANEXO 8 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICO DE LAS MATERIAS PRIMAS
(GRITZ)



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

NOMBRE PETICIONARIO: Sr. Jorge Daniel Flores
DIRECCIÓN: Cotacachi-Quiroga barrio la Victoria
FECHA DE EMISIÓN: 13-07-2018
ANÁLISIS SOLICITADO: Análisis proximales de materias primas

Parámetro Analizado	Unidad	Resultados			Método de ensayo
		Gritz de Maíz	Gritz de Chocho	Gritz de Zanahoria blanca	
Humedad	%	12,42	9,16	6,74	AOAC 930.15
Proteína	%	9,42	41,2	4,73	AOAC 923.03
Grasa	%	2,09	16,34	0,6	AOAC 955.39
Cenizas	%	0,63	1,73	3,43	AOAC 920.85
Carbohidratos	%	75,44	31,57	84,5	AOAC 978.10
Fibra	%	0,89	10,46	2,99	Cálculo
Almidón	%	72,68	13,30	76,2	Polarimetría
Amilosa	%	21,04	27,77	13,39	Marrison y Laignele
Amilopectina	%	78,96	72,23	86,61	Cálculo

Ing. Elena Villacres
RESPONSABLE TÉCNICO
ESTACIÓN EXPERIMENTAL SANTA CATALINA
INIAP

ANEXO 9 ANÁLISIS PROXIMAL DE LAS MEZCLAS



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

NOMBRE PETICIONARIO: Sr. Jorge Daniel Flores
DIRECCIÓN: Cotacachi-Quiroga Barrio la Victoria
FECHA DE EMISIÓN: 13-07-2018
ANÁLISIS SOLICITADO: Análisis proximales de mezclas

Parámetro Analizado	Unidad	Resultados		Método de ensayo
		Mezcla 1 70%Maíz 15%Chocho 15%Zanahoria blanca	Mezcla 2 80%Maíz 10%Chocho 10%Zanahoria blanca	
Humedad	%	11,08	11,53	AOAC 930.15
Proteína	%	13,48	12,13	AOAC 923.03
Grasa	%	4,00	3,36	AOAC 955.39
Cenizas	%	1,22	1,02	AOAC 920.85
Carbohidratos	%	70,22	71,96	AOAC 978.10
Fibra	%	2,64	2,06	Cálculo


Inga Elena Villacres
RESPONSABLE TÉCNICO

ANEXO 10 ANÁLISIS DE PROPIEDADES FUNCIONALES DEL PRODUCTO EXTRUIDO



Gobierno Nacional de la República del Ecuador



Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuicultura y Pesca

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

Tratamientos		Descripción	Resultados				
Unidad	Índice de Expansión		Densidad aparente	Índice de absorción de agua	Índice de solubilidad de agua		
T1	%	70% maíz+15% chocho+15% zanahoria blanca; 15% humedad; 110°C	4,08	0,59	5,70	0,25	
T2	%	70% maíz+15% chocho +15% zanahoria blanca; 15% humedad; 140°C	4,27	0,33	5,17	0,35	
T3	%	70% maíz+15% chocho +15% zanahoria blanca; 20% humedad; 110°C	3,96	0,38	5,28	0,29	
T4	%	70% maíz+15% chocho +15% zanahoria blanca; 20% humedad; 140°C	4,25	0,46	5,23	0,29	
T5	%	80% maíz+10% chocho +10% zanahoria blanca; 15% humedad; 110°C	4,54	0,28	4,66	0,37	
T6	%	80% maíz+10% chocho +10% zanahoria blanca; 15% humedad; 140°C	4,38	0,29	5,21	0,31	
T7	%	80% maíz+10% chocho +10% zanahoria blanca; 20% humedad; 110°C	4,19	0,38	5,62	0,26	
T8	%	80% maíz+10% chocho +10% zanahoria blanca; 20% humedad; 140°C	4,13	0,39	5,30	0,29	
Testigo	%	100% maíz	5,37	0,28	5,51	0,29	



ANEXO 11 ANÁLISIS DE FÍSICOQUÍMICO DEL PRODUCTO EXTRUIDO



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°: 243 -2018
Análisis solicitado por: Sr. Jorge Daniel Flores
Empresa: No aplica
Muestreado: No aplica
Fecha de recepción: 06 de febrero de 2018
Fecha de entrega informe: 01 de octubre de 2018
Ciudad: Ibarra
Provincia: Imbabura
Muestra: Snack de maíz, chocho y zanahoria blanca
No. de Lote (Fecha elaboración): No aplica
Fecha de caducidad: No aplica
Codigo/identificación: Snack de maíz, chocho y zanahoria blanca
Peso/vol declarado: No aplica
Peso/vol encontrado: No aplica
Tipo de envase: No aplica
Tipo de conservación: Ambiente
Código Interno: Pre establecido

Análisis Físico Químico

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado			Método de Ensayo
		TESTIGO	T1	T2	
Contenido de humedad	%	5,42	6,83	6,32	AOAC 930.15
Cenizas	%	0,57	1,11	1,06	AOAC 923.03
Fibra Total	%	0,64	0,57	0,79	AOAC 962.09
Proteína	%	8,32	14,49	14,78	AOAC 984.13
Extracto etéreo	%	0,50	1,98	1,77	AOAC 920.39
Carbohidratos totales	%	85,19	75,59	76,08	Cálculo

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado			Método de Ensayo
		T3	T4	T5	
Contenido de humedad	%	7,62	9,58	6,21	AOAC 930.15
Cenizas	%	1,06	1,14	1,16	AOAC 923.03
Fibra Total	%	1,76	1,38	1,25	AOAC 962.09
Proteína	%	18,32	16,13	12,90	AOAC 984.13
Extracto etéreo	%	1,23	1,31	0,87	AOAC 920.39
Carbohidratos totales	%	71,77	71,84	78,86	Cálculo

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado			Método de Ensayo
		T6	T7	T8	
Contenido de humedad	%	5,92	9,56	9,41	AOAC 930.15
Cenizas	%	0,95	0,93	0,87	AOAC 923.03
Fibra Total	%	1,43	1,83	0,98	AOAC 962.09
Proteína	%	13,29	12,55	13,55	AOAC 984.13
Extracto etéreo	%	0,77	0,93	0,95	AOAC 920.39
Carbohidratos totales	%	79,07	76,03	75,22	Cálculo

Los resultados obtenidos pertenecen exclusivamente para las muestras analizadas

El laboratorio no se responsabiliza del uso que el cliente pueda dar al presente informe

Los informes se almacenarán por un periodo de dos años a partir del ingreso de la muestra al laboratorio

Tiempo de almacenamiento de las muestras: 30 días a partir de la entrega del informe

Atentamente,

Biot. José Luis Moreno

Técnico de Laboratorio

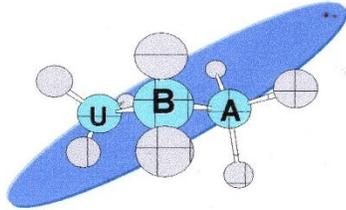
Visión Institucional

La Universidad Técnica del Norte en el año 2020, será un referente en ciencia, tecnología e innovación en el país, con estándares de excelencia institucionales.



Av. 17 de Julio S-21 y José María
Córdova. Barrio El Olivo.
Teléfono: (06)2997800
Fax: Ext: 7711.
Email: utn@utn.edu.ec
www.utn.edu.ec
Ibarra - Ecuador

ANEXO 12 PERFIL DE AMINOÁCIDOS DEL MEJOR TRATAMIENTO



**Analytical
Laboratories**
Testing & Consulting

WWW.UBA-LAB.COM

INFORME DE RESULTADOS IDR 20320-2018

Fecha: 07 de Mayo del 2018

DATOS DEL CLIENTE

Nombre	FLORES NOGALES JORGE DANIEL		
Dirección	Ibarra: Av 17 de Julio		
Teléfono	0987962627		
Contacto	Sr Daniel Flores		

DATOS DE LA MUESTRA

Tipo de muestra	Snacks	Cantidad	Aprox. 400 g
No. de muestras	1 (n=1)	Lote	N/A
Presentación	Funda plástica	Fecha de recepción	19 de Abril del 2018
Colecta de muestra	Realizado por el Cliente	Fecha de colecta de muestra	N.A.

CONDICIONES DEL ANALISIS

Temperatura (°C)	21.7	Humedad (%)	54.0
Fecha de Inicio de Análisis	26 de Abril del 2018		
Fecha de Finalización del análisis	26 de Abril del 2018		

RESULTADOS

PERFIL DE AMINOACIDOS

CODIGO CLIENTE	CODIGO UBA	PARAMETROS	METODO	RESULTADOS	Unidad	Limite Detección (ppb)
Snacks Tratamiento # 5	UBA-20320-1	Acido Apartico	Burbach. Rudolph Institute Pre- Derivatización HPLC-FLD	0.78	gAA/100mL muestra Base Húmeda p/p	50
		Acido Glutámico		2.77		
		Serina		1.57		
		Histidina		0.77		
		Treonina		0.51		
		Glicina		0.32		
		Arginina		0.55		
		Alanine		0.19		
		Tirosina		1.31		
		Triptofano		0.00		
		Valina		0.38		
		Metionina		0.14		
		Fenil alanina		0.45		
		Isoleucina		0.38		
		Leucina		0.88		
Lisina	0.30					
Aminoácidos Totales (%)	11.29					

Observaciones:

- Los resultados emitidos en este informe, corresponden únicamente a la(s) muestra(s) recibidas por el laboratorio. No siendo extensivo a cualquier lote.
- Este reporte no debe ser reproducido parcial o totalmente, excepto con la aprobación escrita por parte del laboratorio.
- Nomenclatura: N.E. = No Estimado; N.A. = No aplica; AA = Aminoácidos. N.D.= No detectable.

FOR ADM. 04 R01



Página 1 de 1

CONTROL DE CALIDAD

ALIMENTOS

FARMACEUTICOS

AMBIENTALES

COSMETICOS

Av. Carlos L. Plaza Danin, Cda. La FAE, Mz 20 Solar 12 (Frente al primer bloque de la Atarazana)
PBX: 2288-578, 601-7745 CeL: 0992737500 / 0984780671
e.mail: nmontoya@uba-lab.com
nmontoya@mail.com
Guayaquil-ECUADOR