



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS  
AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE AGROINDUSTRIA

**“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA MEZCLA GRITZ DE  
MAÍZ *Zea mays* GRITZ DE MASHUA *Tropaeolum tuberosum* Y  
EL DIÁMETRO DE LA BOQUILLA DEL EXTRUSOR EN EL  
PROCESO DE EXTRUSIÓN”**

TESIS PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA  
AGROINDUSTRIAL.

**AUTOR/A: Puma Campues Gabriela Yomaira**

**DIRECTOR: Ing. Luis Armando Manosalvas Quiroz Msc.**



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS

### AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

#### 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	
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	1003333653
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	Puma Campues Gabriela Yomaira
<b>DIRECCIÓN</b>	Los Soles, calle 6 de diciembre 1-53
<b>E-MAIL</b>	gypumac1803@hotmail.com
<b>TELÉFONO MÓVIL</b>	0992059195
DATOS DE LA OBRA	
<b>TÍTULO</b>	<b>“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA MEZCLA GRITZ DE MAÍZ <i>Zea mays</i> GRITZ DE MASHUA <i>Tropaeolum tuberosum</i> Y EL DIÁMETRO DE LA BOQUILLA DEL EXTRUSOR EN EL PROCESO DE EXTRUSIÓN”</b>
<b>AUTOR</b>	Puma Campues Gabriela Yomaira
<b>FECHA</b>	28 de octubre del 2019
<b>PROGRAMA</b>	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSTGRADO
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA</b>	<b>Ingeniero Agroindustrial</b>
<b>DIRECTOR</b>	Ing. Luis Manosalvas, MSc.

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS

### AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

#### CARRERA DE AGROINDUSTRIAS

### “EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA MEZCLA GRITZ DE MAÍZ *Zea mays* GRITZ DE MASHUA *Tropaeolum tuberosum* Y EL DIÁMETRO DE LA BOQUILLA DEL EXTRUSOR EN EL PROCESO DE EXTRUSIÓN”

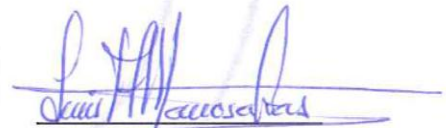
Tesis revisada por los miembros del tribunal, por lo cual se autoriza su  
presentación como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO/A AGROINDUSTRIAL**

**APROBADA:**

Ing. Armando Manosalvas, M Sc.


**DIRECTOR DE TESIS**



**FIRMA**

Ing. Rosario Espín, M Sc.

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



**FIRMA**

Ing. Ángel Satama, M Sc.

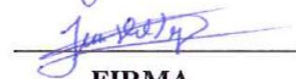
**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



**FIRMA**

Ing. Juan De La Vega, M Sc.

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



**FIRMA**

## **2.- AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD**

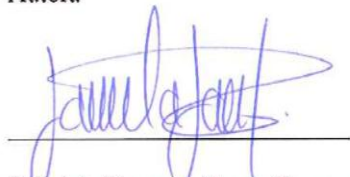
Yo, Gabriela Yomaira Puma Campues de cédula de ciudadanía N° 100333365-3 en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

## **3.- CONSTANCIAS**

La autora manifiesta 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 el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, 28 de octubre del 2019

Autora




Gabriela Yomaira Puma Campues

C.C: 100333365-3

## DECLARACIÓN

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

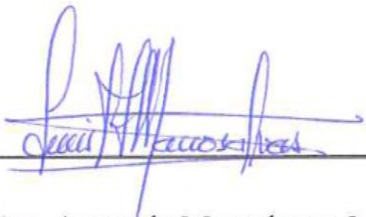
Ibarra, a los 28 días del mes octubre de 2019

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Gabriela Yomaira Puma Campes', is written over a horizontal line.

Gabriela Yomaira Puma Campes

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por la señorita Gabriela Yomaira Puma Campues, bajo mi supervisión.



---

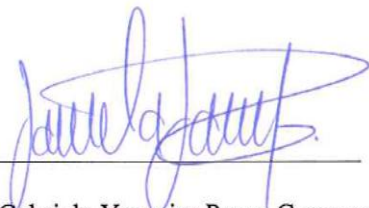
Ing. Armando Manoslavas, M Sc.  
DIRECTOR DE TESIS



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

Yo Gabriela Yomaira Puma Campues, con cédula de identidad Nro. 100333365-3, 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 autora de la obra o trabajo de grado denominado: **EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA MEZCLA GRITZ DE MAÍZ *Zea mays* GRITZ DE MASHUA *Tropaeolum tuberosum* Y EL DIÁMETRO DE LA BOQUILLA DEL EXTRUSOR EN EL PROCESO DE EXTRUSIÓN**, que ha sido desarrollado para optar por el título de: **INGENIERA 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 veinte y ocho días del mes de octubre del 2019



---

Gabriela Yomaira Puma Campues

C.C: 100333365-3

## **DEDICATORIA**

A mis padres Luis y María quienes con su amor, paciencia y esfuerzo me han permitido llegar a cumplir hoy una anhelada meta y un sueño más, gracias por inculcar en mí, con su ejemplo el esfuerzo y valentía, de no temer a las adversidades y seguir hacia delante.

A mi amado esposo Omar, y a mis hijos Jeampierre y Sebastián, hijos de mi vida que han sido mi pilar, mi fortaleza y mi apoyo incondicional y el motor de mi vida, a ellos les dedico todas las bendiciones que de parte de Dios vendrán a nuestras vidas como recompensa de tanta dedicación, tanto esfuerzo y fe en la causa misma. LOS AMO DEMASIADO.

A mis hermanas Jeaneht, Maribel y Erika por su cariño y apoyo incondicional, durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento gracias. A ti hermano mío, Cristian que, aunque ya no estas con nosotros fuiste quien me ayudo y me animo en mis momentos difíciles y ahora me acompaña todos los días como una luz en mi camino.

A mis sobrinos, que con sus palabras de aliento me ayudaron de una u otra forma para cumplir con mi meta.

A mis amigos, Luis y Fernanda por apoyarme cuando más las necesito, por extender su mano en momentos difíciles de verdad mil gracias, siempre las llevo en mi corazón.

Gabriela Puma



## **AGRADECIMIENTO**

Quiero expresar mi gratitud a Dios, quien con su bendición llena siempre todos los días de mi vida.

A mis padres, que han sabido darme su ejemplo de trabajo y honradez.

A mi esposo Omar por su apoyo, paciencia y ayuda en este proyecto de estudio. Gracias Amor.

A mis hijos mis amores chiquitos, Jeampierre y Sebastián, por su paciencia y comprensión y sobre todo por todo el amor demostrado día a día.

A Fernanda G. por su comprensión y apoyo durante la presentación de esta investigación.

De igual manera mis agradecimientos a la Universidad Técnica del Norte, a toda la Carrera de Agroindustrias, a mis profesores, quienes con la enseñanza de sus valiosos conocimientos hicieron que pueda crecer día a día como profesional, gracias a cada uno de ustedes por su paciencia, dedicación, apoyo incondicional y amistad.

Finalmente quiero expresar mi más grande y sincero agradecimiento al Ing. Armando Manosalvas, principal colaborador durante todo este proceso, quien con su dirección, conocimiento, enseñanza y colaboración permitió el desarrollo de este trabajo.

Gabriela Puma

## ÍNDICE DE CONTENIDO

índice de contenido.....	i
Índice de tablas.....	v
Índice de figuras.....	vii
Índice de ecuaciones.....	ix
<b>RESUMEN.....</b>	<b>X</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>XI</b>
<b>CAPÍTULO I.....</b>	<b>1</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Problema .....	1
1.2. Justificación.....	3
1.3. Objetivos .....	4
1.3.1. Objetivo general.....	4
1.3.2. Objetivos específicos. ....	4
1.4. Hipótesis.....	5
1.4.1. Hipótesis alternativa.....	5
1.4.2. Hipótesis nula.....	5
<b>CAPÍTULO II .....</b>	<b>6</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>6</b>
2.1. Principios de la extrusión.....	6
2.1.1. La extrusión.....	7
2.2. Factores que influyen en la extrusión.....	8

2.3.	Tipos de extrusores .....		9
2.3.1.	Extrusión caliente.....		12
2.3.2.	Extrusión en frío.....		13
2.3.3.	Extrusores de tornillo único .....		13
2.3.4.	Extrusores de tornillos doble.....		14
2.4.	Operación de un extrusor de alimentos.....		14
2.5.	Ventajas del proceso de extrusión.....		17
2.6.	Los snack.....		19
2.7.	Materias primas destinadas al proceso de extrusión .....		20
2.7.1.	Materias primas utilizadas en la investigación.....		21
2.7.2.	El maíz .....		25
2.8.	Propiedades reológicas de los alimentos durante el proceso de extrusión.....		27
2.9.	Cambios nutricionales de las materias primas .....		34
2.10.	Parámetros de calidad de las materias primas y de los productos extruidos .....		36
2.11.	Textura instrumental .....		42
2.11.1.	Perfil de textura.....		43
2.12.	Atributos de calidad sensorial .....		47
<b>CAPÍTULO III.....</b>			<b>50</b>
<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>			<b>50</b>
3.1.	Caracterización del área de estudio.....		50
3.1.1.	Ubicación del experimento .....		51
3.1.2.	Materiales y equipos .....		51
3.1.3.	Métodos.....		52
3.1.4.	Factores en estudio.....		52
3.1.5.	Tratamientos.....		52

3.1.6.	Diseño. ....	53
3.1.7.	Características del experimento .....	53
3.1.8.	Unidad experimental .....	53
3.1.9.	Análisis estadístico.....	53
3.1.10.	Análisis funcional.....	54
3.1.11.	Determinación de la composición físico química de la materia prima y del producto extruido .....	55
3.1.12.	Variables cuantitativas .....	55
3.1.13.	Métodos de análisis .....	55
3.1.14.	Determinación de características funcionales en producto extruido.....	57
3.1.15.	Determinación de composición físico química en el producto extruido	59
3.1.16.	Análisis sensorial .....	59
3.1.17.	Elaboración de gritz .....	61
3.1.18.	Descripción del proceso .....	62
3.1.19.	Elaboración de extruido de mashua-maíz .....	65
3.1.20.	Descripción del proceso .....	66
3.1.21.	Caracterización del tornillo .....	67
<b>CAPITULO IV .....</b>		<b>70</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIONES.....</b>		<b>70</b>
4.1.	Variables evaluadas en las materias primas .....	70
3.1.22.	Características físico-químicas de la materia prima.....	70
3.1.23.	Variables físico químicas evaluadas en el producto terminado .....	75
3.1.24.	Humedad .....	76
3.1.25.	Proteína .....	77
3.1.26.	Fibra bruta .....	79
3.1.27.	Carbohidratos .....	81
3.1.28.	Lípidos .....	82
4.2.	DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES DEL PRODUCTO EXTRUIDO.....	84

3.1.29.	Índice de expansión (ie) .....	85
3.1.30.	Densidad aparente (da).....	88
3.1.31.	Índice de solubilidad (isa) .....	90
3.1.32.	Índice de absorcion en agua (iaa).....	93
3.1.33.	Análisis de textura de productos extruidos .....	95
4.3.	Aceptabilidad sensorial .....	99
2.15.	Color.....	99
2.16.	Olor .....	100
2.17.	Sabor .....	101
2.18.	Textura .....	101
2.19.	Aceptabilidad .....	102
<b>CAPÍTULO V.....</b>		<b>105</b>
<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>		<b>105</b>
5.1.	CONCLUSIONES .....	105
5.2.	RECOMENDACIONES .....	106
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>		<b>107</b>
Referencias textuales.....		107
anexos .....		116

## ÍNDICE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Aplicaciones del proceso de extrusión.....	18
<b>Tabla 2.</b> Taxonomía morfológica de mashua .....	23
<b>Tabla 3.</b> Composición química de la mashua en base seca .....	24
<b>Tabla 4.</b> Perfil de aminoácidos de la mashua .....	24
<b>Tabla 5.</b> Producción de maíz en el Ecuador.....	26
<b>Tabla 6.</b> Composición nutricional del maíz en base seca .....	27
<b>Tabla 7.</b> Datos climatológicos del lugar de experimentación.....	51
<b>Tabla 8.</b> Materiales y Equipos utilizados en la experimentación. ....	51
<b>Tabla 9.</b> Factor A.....	52
<b>Tabla 10.</b> Factor B .....	52
<b>Tabla 11.</b> Nomenclatura de los tratamientos.....	53
<b>Tabla 12.</b> Esquema de análisis de varianza.....	54
<b>Tabla 13.</b> Parámetros analizados en griz de (maíz - mashua).....	55
<b>Tabla 14.</b> Parámetros analizados en producto terminado .....	57
<b>Tabla 15.</b> Calidad sensorial del producto .....	59
<b>Tabla 16.</b> Partes de un extrusor .....	69
<b>Tabla 17.</b> Composición nutricional de las materias primas (base seca)...	70
<b>Tabla 18.</b> Composición nutricional de las mezclas. ....	72
<b>Tabla 19.</b> Composición en almidón de las materias primas .....	73
<b>Tabla 20.</b> Análisis de varianza de las variables físico químicas en el snack. .....	76
<b>Tabla 21.</b> Resumen de análisis físico químicos del producto extruido .....	84
<b>Tabla 22.</b> Análisis de varianza de las variables funcionales en el snack.	85

<b>Tabla 23.</b> Resumen de propiedades funcionales del producto extruido ...	95
<b>Tabla 24.</b> Análisis de varianza de textura instrumental del snack. ....	95
<b>Tabla 25.</b> Resumen de propiedades funcionales del producto extruido ...	96
<b>Tabla 26.</b> Friedman para variables cualitativas .....	103



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Diseño genérico de un extrusor de tornillo simple.....	7
<b>Figura 2.</b> Áreas de Extrusor de tornillo único.....	10
<b>Figura 3.</b> Geometría del conjunto tornillo-barril de extrusora de tornillo único..	11
<b>Figura 4.</b> Mashua <i>Tropaeolum tuberosum</i> .....	22
<b>Figura 5.</b> Almidón de mashua visto en diferentes lentes. ....	25
<b>Figura 6.</b> Curva de un análisis de perfil de textura .....	44
<b>Figura 7.</b> Determinación de textura por punción .....	45
<b>Figura 8.</b> Medición de textura por guillotina .....	46
<b>Figura 9.</b> Diagrama de bloques de gritz de mashua .....	61
<b>Figura 10.</b> Tubérculos de mashua seleccionada.....	62
<b>Figura 11.</b> Lavado de tubérculos de mashua.....	62
<b>Figura 12.</b> Mashua troceada .....	63
<b>Figura 13.</b> Secado de rodajas de mashua .....	63
<b>Figura 14.</b> Tamizado de gritz de mashua .....	64
<b>Figura 15.</b> Diagrama De Bloques Extruido De Mashua .....	65
<b>Figura 16.</b> Pesado de gritz de mashua y gritz de maíz.....	66
<b>Figura 17.</b> Extrusión la mezcla de gritz de mashua-maiz .....	66
<b>Figura 18.</b> Extruido de mashua .....	67
<b>Figura 19.</b> Zonas del tornillo de un extrusor.....	67
<b>Figura 20.</b> Partes del tornillo.....	68
<b>Figura 21.</b> Proteína del producto extruido .....	78
<b>Figura 22.</b> Fibra del producto extruido .....	80
<b>Figura 23.</b> Grasa del producto extruido .....	83

<b>Figura 24.</b> Índice de expansión del extruido .....	86
<b>Figura 25.</b> Densidad aparente del extruido de mashua .....	88
<b>Figura 26.</b> Índice de Solubilidad en agua (ISA) .....	91
<b>Figura 27.</b> Índice de absorción en agua (IAA).....	93
<b>Figura 30.</b> Textura instrumental del extruido de mashua.....	97
<b>Figura 31.</b> Color del producto extruido.....	99
<b>Figura 32.</b> Olor del producto extruido .....	100
<b>Figura 33.</b> Sabor del producto extruido .....	101
<b>Figura 34.</b> Textura del producto extruido .....	102
<b>Figura 35.</b> Aceptabilidad del producto extruido .....	103

## ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación

(1).....	54
(2).....	56
(3).....	57
(4).....	58
(5).....	58
(6).....	58
(7).....	60

## RESUMEN

Las leguminosas, cereales y tubérculos son consideradas como materias primas con alto valor nutricional e importantes fuentes de contenido de proteína, carbohidratos complejos, vitaminas y minerales. Por lo tanto, esta investigación propone evaluar el proceso de obtención de un snack mediante la extrusión que incluye la adición de griz de maíz y mashua, mediante la aplicación térmica, para obtener productos con valores nutricionales importantes y que además sean expandidos, crujientes, nutritivos y listos para el consumo. En el presente trabajo se determinó el porcentaje de griz de mashua-maíz adecuados para el tipo de extrusor en estudio, el objetivo de la investigación fue evaluar el efecto de las condiciones del proceso de extrusión: matriz alimentaria: maíz *Zea mays* y mashua amarilla *Tropaelanum tubersum* en proporción (p/p): 85/15, 90/10 y 95/5, diámetro de la boquilla: (3 mm y 5 mm) sobre las propiedades funcionales del producto extruido (índice de expansión IE, densidad aparente DA, índice de absorción en agua IAA, índice de solubilidad en agua ISA y textura instrumental). Obteniendo como mejores resultados los snacks extruidos en índice de expansión, índice de absorción y solubilidad en agua, en la proporción de matriz 95/5 y con 3mm de diámetro del dado; en la densidad y en los valores de fuerza de punción y guillotina fueron menores con relación a los demás tratamientos, con valores de IE (5,69%), ISA (14,10%), IAA (6,30%), DA (0,07g/cm<sup>3</sup>), fuerza de punción (2,87N) y fuerza de corte en guillotina (9.10 N). Los parámetros de extrusión aplicados en esta investigación presentaron efectos significativos sobre las propiedades funcionales de los extruidos de acuerdo a los porcentajes de sustitución de las mezclas, las cuales determinaron la eficiencia y trabajo del extrusor.

Palabras claves: mashua, extrusión, propiedades funcionales, porcentaje de mezcla.

## ABSTRACT

Legumes, cereals and tubers are considered as raw materials with high nutritional value and important sources of protein content, complex carbohydrates, vitamins and minerals. Therefore, this research proposes to evaluate the process of obtaining a snack by extrusion that includes the addition of corn and mashua gritz, by thermal application, to obtain products with important nutritional values and that are also expanded, crispy, nutritious and ready for consumption. In this work, the percentage of mashua-corn gritz suitable for the type of extruder under study was determined, the objective of the investigation was to evaluate the effect of the conditions of the extrusion process: food matrix: Zea mays corn and Tropaelanum yellow mashua Tubersum in proportion (w / w): 85/15, 90/10 and 95/5, diameter of the nozzle: (3 mm and 5 mm) on the functional properties of the extruded product (IE expansion index, apparent density DA, index of absorption in water IAA, index of solubility in water ISA and instrumental texture). Obtaining as best results the extruded snacks in expansion index, absorption index and water solubility, in the proportion of matrix 95/5 and with 3mm diameter of the die; in the density and puncture force and guillotine values were lower compared to the other treatments, with values of IE (5.69%), ISA (14.10%), IAA (6.30%), DA (0,07g / cm<sup>3</sup>), puncture force (2,87N) and guillotine shear force (9.10 N). The extrusion parameters applied in this investigation had significant effects on the functional properties of the extrudates according to the percentages of substitution of the mixtures, which determined the efficiency and work of the extruder.

Keywords: mashua, extrusion, functional properties, mixing percentage.

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1. PROBLEMA**

La mashua es un tubérculo andino que se cultiva en algunas provincias de la sierra ecuatoriana, pero su consumo es escaso y no se lo encuentra fácilmente en el mercado local; a pesar de poseer un alto valor en sus propiedades nutricionales, la escasa investigación acerca de procesamientos agroindustriales a base de este tubérculo trae como consecuencia su consumo en forma tradicional en comunidades campesinas. Además, se desaprovecha las propiedades nutricionales que posee, como proteína, fibra, carbohidratos, aminoácidos esenciales y antioxidantes (Cgiar et al., 2014).

Por otro lado, la escasa información del valor nutricional y funcional de la mashua, deriva en un tubérculo poco apreciado como alimento. Además, por la falta de industrialización es poco atractivo para la industria alimentaria. Por esta razón, se buscó una forma de insertar una pre mezcla de gritz mashua con gritz de maíz para promover el uso agroindustrial de este tubérculo andino.

Por otra parte, la extrusión es un proceso aún muy poco conocido y desarrollado en el país y además el desconocimiento de las materias primas que se puede utilizar en esta operación llevan a desaprovechar los cultivos de leguminosas, cereales y tubérculos mismo que servirían para obtener productos directos para el consumo como snack o cereales de desayuno.

En la actualidad la producción de snacks mediante la extrusión, por ser un proceso que utiliza altas temperaturas, presiones y periodos cortos de tiempo, lleva a

generar pérdidas nutricionales y modificaciones en materia primas (Beltrán & Marcilla, 2012) lo que lleva a tener en el mercado snacks de bajo valor nutricional que no satisfacen los requerimientos nutricionales de una dieta balanceada, situación que resulta por la baja investigación a nivel agroindustrial en la región norte del país.



## **1.2. JUSTIFICACIÓN**

Entre los contenidos nutricionales de la mashua se pueden encontrar contenidos importantes de carbohidratos, almidones, fibra, proteínas, calorías, antioxidantes, vitaminas del complejo B, C y minerales como calcio, hierro y fósforo(Chirinos, Rogez, Campos, Pedreschi, & Larondelle, 2007). Por sus propiedades físico químicas presenta la ventaja de ser almacenadas para que aumente su dulzura debido a la hidrolización de sus almidones en azúcar (Ecológico, 2007).

Uno de los procesos donde se puede usar la mashua, es en la obtención de un alimento extruido, mediante el proceso industrial que es la extrusión a altas temperaturas y presiones por corto tiempo, debido a que este es uno de los procesos tecnológicos de mayor versatilidad para la elaboración de productos alimenticios a partir de granos de cereales y leguminosas. Además, con esta tecnología se busca obtener más beneficios nutricionales ya que, las altas temperaturas alcanzadas favorecen la desactivación de factores antinutricionales y también reducen la carga microbiana (Kokini & Cisneros, 2002).

El desarrollo de esta investigación, trata de determinar los parámetros adecuados para la elaboración y obtención de un snack extruido a base de gritz maíz-gritz de mashua, adicionalmente se busca potencializar la utilización e industrialización de materias primas en la formulación de mezclas con tubérculos andinos, y a la vez, dar mayor estabilidad durante el almacenamiento y mantener las características químicas del gritz mashua- gritz de maíz para motivar su consumo, impulsando el sector agrícola nacional, con la posibilidad de tener mayor demanda del tubérculo en el mercado nacional, contribuyendo así a garantizar la soberanía alimentaria a través de la recuperación de los cultivos andinos actualmente poco industrializados.

## **1.3. OBJETIVOS**

### **1.3.1. OBJETIVO GENERAL.**

Evaluar el efecto de la mezcla gritz de maíz *Zea mays* gritz de mashua *Tropaeolum tuberosum* y el diámetro de la boquilla del extrusor en el proceso de extrusión.

### **1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Determinar las características fisicoquímicas (humedad, amilosa, amilopectina, fibra, proteína) de la mezcla.
- Evaluar el efecto de la mezcla gritz de maíz-gritz de mashua y diámetro de la boquilla sobre el índice de expansión y textura instrumental del producto extruido.
- Determinar las características físico químicas (humedad, fibra, proteína, carbohidratos) del producto extruido.
- Evaluar las características organolépticas (color, olor, sabor) y de aceptabilidad del mejor tratamiento.

## **1.4. HIPÓTESIS**

### **1.4.1. HIPÓTESIS ALTERNATIVA**

**Hi:** La mezcla gritz de maíz *Zea mays* gritz de mashua *Tropaeolum tuberosum* y el diámetro de salida de la boquilla del extrusor influyen en el proceso de extrusión.

### **1.4.2. HIPÓTESIS NULA**

**Ho:** La mezcla gritz de maíz *Zea mays* gritz de mashua *Tropaeolum tuberosum* y el diámetro de salida de la boquilla del extrusor no influyen en el proceso de extrusión.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. PRINCIPIOS DE LA EXTRUSIÓN**

La extrusión es un proceso en el cual un sólido o un semisólido es forzado mediante altas presiones a fluir a través de una boquilla de salida del extrusor de diferentes diámetros (Bouvier & Campanella, 2014). La tecnología básica aplicada en los sistemas de extrusión de alimentos no ha variado en más de 60 años. Sin embargo, las nuevas aplicaciones, la diversidad de materias primas, la eficiencia de uso y el diseño simple de los extrusores han hecho que el procesamiento de alimentos sea más sencillo y confiable, además de ser un proceso continuo y de autocorrección (Altan, 2012).

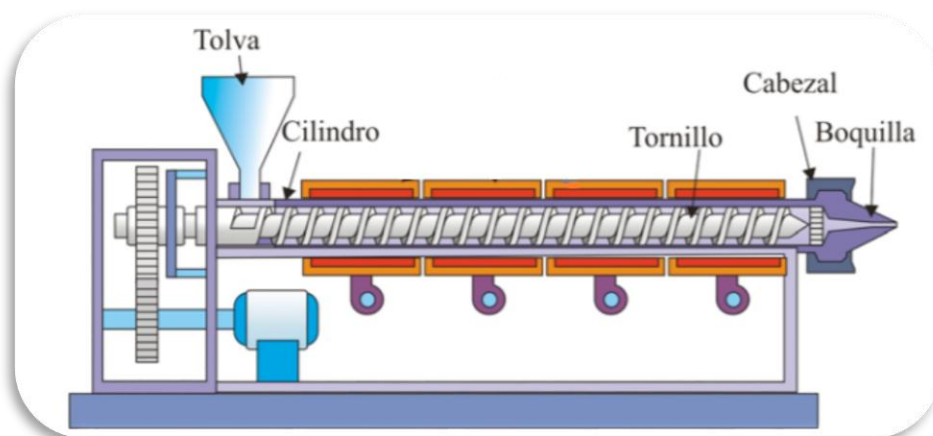
En la actualidad la cocción por extrusión presenta algunas ventajas que favorecen las condiciones de operación y la oferta de nuevos productos, mismos que bajo otros métodos de producción no serían posibles desarrollar (Kokini & Cisneros, 2002). Por lo tanto, las principales ventajas de la extrusión son la adaptabilidad de los materias primas utilizadas, las características nutricionales y funcionales de los alimentos obtenidos, innovación de nuevos productos, snacks de alta calidad y productividad así como controles automatizados, lo más importante a bajos costos de producción y con eficiencia energética (Sevatson & Huber, 2000).

De la misma manera, las materias primas utilizadas para la extrusión son principalmente las ricas en almidones de cereales como maíz y en presencia de mínimas cantidades de lípidos, compuestos menores y proteínas vegetales. Además, existen aplicaciones adicionales para algunas de las proteínas animales las cuales

pueden ser mezcladas con cereales, granos y tubérculos para producir una matriz compleja que satisfaga las necesidades de un mercado específico (Altan, 2012).

### 2.1.1. LA EXTRUSIÓN

La extrusión de alimentos se desarrolla bajo diferentes condiciones como son: mezclado, calentado y cizalla, mediante un tornillo sin fin el cual empuja la mezcla para que salga a través de una boquilla de dada geometría y diámetro, como muestra la Figura 1, este proceso sirve para dar forma o expandir los ingredientes (Llopart, 2011).



**Figura 1.** Diseño genérico de un extrusor de tornillo simple.

Fuente: (Beltrán & Marcilla, 2012)

Además, la extrusión de alimentos es un proceso moderno que utiliza altas temperaturas y periodos de tiempo cortos (HTST) (Adekola, 2015). Asimismo, la cocción por extrusión se usa comúnmente para dar forma a un producto por medio de una boquilla con diseño específico para obtener productos extruidos de diferentes formas y tamaños (Kokini & Cisneros, 2002). Por otra parte, la extrusión es un proceso continuo, versátil y con alta eficiencia productiva y energética reduciendo los costos de producción (Neder et al., 2016) debido a que la extrusión está acompañado de varias operaciones unitarias como son: transporte de materias primas, amasado, calentamiento, mezclado y por ultimo formación de una sola masa (Adekola, 2015).

Wu, Liu, Wang, & Li, (2015) mencionan que el diseño de la boquilla permite trabajar bajo diferentes condiciones como: altas temperaturas, presiones y cizalla,

resultando en una modificación de las propiedades del almidón debido a la combinación de humedad de las materias primas, presión de la boquilla, calor y fricción mecánica del barril. Por consiguiente, las condiciones de la mezcla combinadas con las altas temperaturas utilizadas en la extrusión dan como resultado la gelatinización y explosión de los almidones, la desnaturalización y plastificación de las proteínas y una expansión exotérmica que resulta en productos expandidos listos para el consumo (Wu, Liu, Wang, & Li, 2015) (Yang et al., 2016).

Por otra parte, en las últimas décadas el avance tecnológico permitió el desarrollo de la extrusión transformándolo en un proceso de alta factibilidad. Tanto que, en la actualidad los cereales de desayuno presentan dos tipos diferentes, cereal directamente expandido (direct expansion) donde la extrusión no solo cocina la matriz alimentaria sino que además le proporciona textura y forma; también cereal cocido por extrusión (extrusion cooking) o expansión retardada, la cual se utiliza para obtener cereales en forma de copos aglomerados.(Guy et al., 2001).

## **2.2. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA EXTRUSIÓN**

Los factores que tienen mayor influencia en el proceso de extrusión son las altas temperaturas de extrusión, responsables de la gelatinización del almidón (J. Ahmed, Ptaszek, Basu, & Tornberg, 2017), el contenido de humedad de la mezcla y la velocidad de alimentación están directamente relacionadas con el índice de expansión (IE) debido a su relación lineal (Encina, Guevara, & Vélchez, 2012). Además, la velocidad del tornillo influye de manera directa en las propiedades físicas (textura) y funcionales (densidad, absorción y solubilidad en agua) del almidón de la mezcla (Neder et al., 2016).

De la misma forma, el diseño interno del extrusor, su longitud y repartición de los filetes en el tornillo son características importantes para el aumento de la presión dentro del barril y para reducir la concentración de agua de la mezcla, obteniendo un producto más durable, con bajos contenidos de humedad y con textura más agradable para el consumidor (Chakraborty, Singh, Kumbhar, & Singh, 2009).

Igualmente, el diámetro de los orificios de la boquilla de salida intervienen en el índice de expansión y textura del producto terminado las cuales están íntimamente ligadas a la velocidad de cizalla (Gulati, Weier, Santra, Subbiah, & Rose, 2016).

Por lo tanto, las características fisicoquímicas de las materias primas influyen directamente sobre la textura y el color del material extruido. Las más importantes son el contenido de agua, su composición química (contenido de proteínas, lípidos y azúcares), también el tipo y origen biológico de los almidones (Jasim Ahmed, 2012).

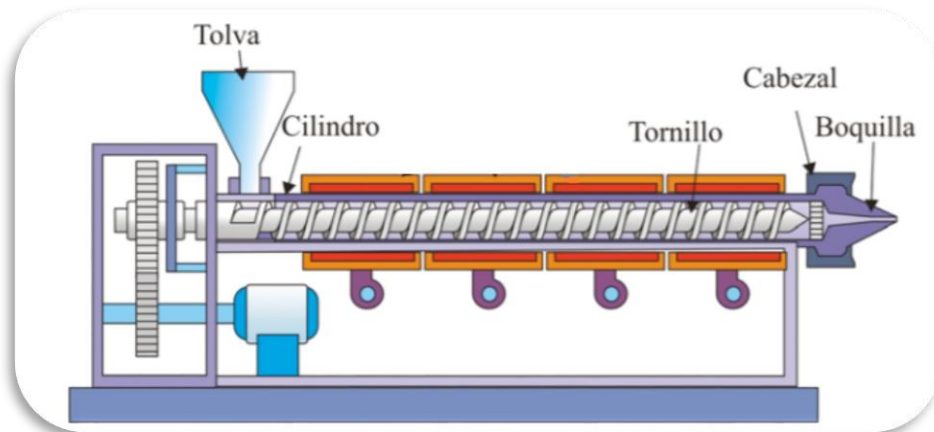
En el proceso de extrusión, se forma una pasta de almidón amorfa que se gelatiniza durante todo el proceso por la absorción de agua, de tal manera que sus propiedades reológicas cambian conforme se va moviendo en el extrusor (Rodríguez et al., 2014). Además, es importante que la velocidad del tornillo y el tiempo de residencia en el barril estén equilibrados con el calentamiento que se lleva a cabo, para que se pueda obtener las características deseadas en el producto extruido (Fellows, 2007).

### **2.3. TIPOS DE EXTRUSORES**

La clasificación de los extrusores se la puede realizar según distintos parámetros como, la humedad inicial de la materia prima a extruirse, el diseño del extrusor si es de tornillo simple o doble tornillo, o por las características funcionales o termodinámicas del proceso (Llopart, 2011).

Un extrusor de tornillo único está compuesto por diferentes partes que cumplen una función específica, la estructura del extrusor y sus partes se detallan en la Figura 2. La variabilidad en la estructura del tornillo permite generar altas presiones y compresiones de la mezcla cuando pasa por las diferentes cámaras que componen el equipo creando temperaturas superiores a las 200°C.





**Figura 2.** Áreas de Extrusor de tornillo único

Fuente: (Beltrán & Marcilla, 2012)

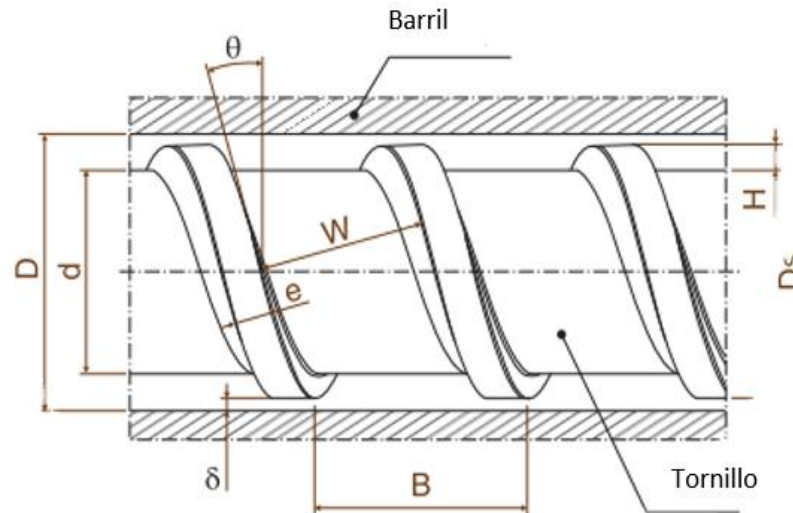
En general todos los diseños de extrusores están divididos en tres zonas como se aprecia en la Figura 2, cada zona tiene una función específica.

La primera sección llamada de alimentación, tiene vuelos profundos con el fin de ofrecer 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 de compresión, con un canal de profundidad decreciente, es donde el material se comprime por efecto del tornillo. Asimismo, el material se calienta por fricción entre partículas y transferencia de calor hasta que se produce la fusión. En esta sección el material cambia de un estado de partículas sólidas a un estado de fluido viscoso. Esta es la sección más larga y es esencial para el funcionamiento correcto de la extrusora ya que debe diseñarse de manera que se fundan completamente los materiales poliméricos(Bouvier & Campanella, 2014).

La tercera sección llamada de fusión, 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. También se puede usar para afinar la conversión de material. De hecho, la sección de medición se caracteriza por vuelos poco profundos que generan altas condiciones de cizallamiento. La energía mecánica disipada permite que el material

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



**Figura 3.** Geometría del conjunto tornillo-barril de extrusora de tornillo único

Fuente: (Bouvier & Campanella, 2014)

Bouvier & Campanella, (2014) mencionan las partes de un extrusor detallado en la Figura 3:

**D:** altura del cañón, hace referencia a la apertura del cañón en el cual tiene lugar la rotación del tornillo.

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

**d:** se considera el diámetro de la raíz del tornillo, en la que están construidos los filetes.

**2δ:** es la anchura del tornillo es la diferencia entre el diámetro del tornillo y la abertura del barril.

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

**(θ):** Se conoce como el ángulo del filete o vuelco con respecto al plano normal del eje del tornillo.

(*W*): El ancho axial del canal se mide desde el lado interno del filete al siguiente dentro del canal, perpendicular al ángulo del vuelo o filete.

(*b*): es el ancho del filete del tornillo en la dirección axial. El ancho del filete está relacionado con el avance y la distancia entre los filetes.

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

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

### **2.3.1. EXTRUSIÓN CALIENTE**

Consiste en la transformación termomecánica de las materias primas, su función principal es la cocción de la mezcla a extruir para producir alimentos texturizados y productos alimenticios, tales como: cereales para el desayuno listos para ser saboreados, aperitivos (salados y dulces), alimento para mascotas, pellets (Clextral S.A., 2011).

Asimismo, para elaborar alimentos extruidos expandidos se utilizan mezclas con humedades de entre 16-20%, velocidad del tornillo desde 200-450rpm, altas temperaturas de cocción de 150-180°C (Guy et al., 2001). Los cambios de presión a la salida del producto, favorecen para obtener una expansión instantánea del vapor de agua que se encuentra en el interior del material extruido, por lo que se obtienen productos de baja densidad (Moscicki & Zuilichem, 2011).

Por otra parte, la extrusión en caliente es un proceso HTST que reduce la pérdida de nutrientes y la contaminación microbiana. A los productos, como aperitivos o cereales para desayuno se los conoce como productos terminados únicamente después de realizar la etapa de secado después de la extrusión, esto es para reducir el contenido de agua y alargar la vida útil de los snacks (Fellows, 2007).

### **2.3.2. EXTRUSIÓN EN FRÍO**

En este tipo de extrusión, el alimento se extruye en tiras sin cocción o sin la torcedura que produce la expansión del vapor de agua. Es decir, la materia prima se someta a la mínima fricción posible, los tornillos de este tipo de extrusores tienen filetes muy profundos por esta razón ruedan a poca velocidad en un tubo de superficie interna lisa. La extrusión en frío se utiliza para producir pastas, masas para salchicha cocidas, pastas para pastelería y confitería (Fellows, 2007).

Además, se utiliza para realizar mezclas suaves y moldear pasta, sin utilizar calor directo ni procesos de cocción dentro de la extrusora (Altan, 2012). En cuanto al procesamiento de alimentos, se usa principalmente para la producción de pasta y masa. Estos productos pueden ser procesados de manera consecutiva: secados, cocidos, envasados al vacío, congelados (Clextral S.A., 2011).

### **2.3.3. EXTRUSORES DE TORNILLO ÚNICO**

Guy et al.,(2001), menciona que la clasificación de los extrusores se da por la intensidad de cizalla ejercida, por ejemplo:

- Extrusores de elevada fuerza de cizalla.
- Extrusores de fuerza de cizalla moderada.
- Extrusores de baja fuerza de cizalla.

Los extrusores de tornillo único constan de una sección para transformar las partículas en una masa homogénea, una sección de amasado para comprimir o mezclar y otra sección para fundir la masa (Guy et al., 2001).

Por otra parte, el transporte de la materia prima depende del grado de fricción con la superficie del cilindro. La materia prima progresa por la acción del tornillo y solo una pequeña fracción refluye entre el tornillo y la pared del cilindro. Este reflujo está causado por una presión creciente que se crea tras la boquilla y por el movimiento de la materia prima entre el tornillo y el cilindro (Altan, 2012).

#### **2.3.4. EXTRUSORES DE TORNILLOS DOBLE**

Los extrusores de tornillos gemelos están compuestos por un par de tornillos que ruedan en el interior de un cilindro, este tipo de equipos se clasifican según el sentido de rotación de los cilindros y según el tipo de esfuerzo realizado por los tornillos. Su sección será en forma de ocho (Wagner, Mount, & Giles, 2014).

Los extrusores más comunes en la industria alimentaria son los de tornillos constantes en los que el movimiento de rotación es el que impulsa el material a través del extrusor. La acción conjunta de ambos tornillos mejora el mezclado y evita la rotación del alimento en el cilindro (Naves, Castro, Mendonça, Santos, & Silva, 2011).

Sánchez Pineda, (2003) y Bouvier & Campanella, (2014), los extrusores de tornillos gemelos poseen las siguientes ventajas:

- Su producción es independiente del flujo de alimentación y puede ajustarse por desplazamiento positivos de los tornillos. Al contrario, de lo que ocurre en los extrusores de tornillo único, donde la materia prima debe ocupar completamente el cilindro para un correcto funcionamiento.
- Los extrusores de tornillos gemelos pueden manejar productos aceitosos, pegajosos y de elevado contenido de agua.
- Los extrusores de tornillo único son capaces de manejar concentraciones máximas del 4% en grasa, 10% en azúcar y 30% de agua. Mientras, en los extrusores de tornillos gemelos estos valores ascienden al 20%, 40% y 65% respectivamente.
- La sección de descarga corta, crear la suficiente presión para lograr la extrusión. Por lo tanto, en estos extrusores la zona sometida a mayor desgaste es mínima. Maneja productos de diferentes granulometrías y harinas.

#### **2.4. OPERACIÓN DE UN EXTRUSOR DE ALIMENTOS**

Según Fellows, (2007), en el proceso de extrusión está relacionado el mezclado, amasado y cocinado simultáneamente. Por lo tanto, se tiene una serie de cambios complejos en el alimento, tales como la hidratación de almidones y proteínas, la

homogenización, la formación de geles, el estiramiento, la fusión de lípidos, la desnaturalización y reordenación de las proteínas, así como, la plastificación, fusión y expansión de la estructura del producto.

Sin embargo, los factores más importantes que influyen sobre la naturaleza del producto extruido son las condiciones de operación, diseño del tornillo del extrusor y las propiedades reológicas de las materias primas o la mezcla (Fellows, 2007).

**Temperatura:** Sevatson & Huber, (2010) mencionan que el rango de temperatura utilizada en la extrusión en caliente se encuentra entre 99°C a 200°C, dependiendo del tipo y diseño de extrusor que se utilice. Asimismo, la temperatura del producto extruido está estrechamente relacionada al tipo de extrusores y a su capacidad de alimentación. Sin embargo, los extrusores con volúmenes altos de alimentación tienden a ser inversos, debido que al calentar las paredes del barril del extrusor resulta en la disminución de la viscosidad de la masa fundida, el esfuerzo cortante y la capacidad de arrastre del tornillo (Sevatson & Huber, 2000).

**Velocidad de tornillo:** según Valenzuela et al., (2017), la velocidad del tornillo es considerada una variable muy importante durante el proceso de extrusión, debido a que afecta el tiempo de residencia del producto dentro del barril y también está vinculado al calor generado por la fricción de las paredes del barril con el tornillo y las fuerzas de cizalladura en el producto. Además, el aumento en la velocidad del tornillo está directamente relacionado con los altos índices de expansión para extruidos.

**Presión:** según Wu, Liu, Wang, Li, & Mao, (2015) durante el proceso de extrusión se tienen altas presiones las cuales provocan la pérdida de agua debido a la vaporización, por lo que se tiene productos con bajos contenidos de humedad dando como resultado un alimento con mayor vida útil. Sin embargo, si durante la extrusión se trabaja con presiones bajas, el producto resultante que sale del dado tendrá altos contenidos de humedad y densidad y además necesitará tratamientos extras como el secado.

**Diámetro de orificio:** según Beltrán & Marcilla (2012), el comportamiento en general del extrusor está dado por el diámetro de la boquilla y el tornillo, la

extrusión con diámetros de dados pequeños, aumenta el grado de expansión del producto; este comportamiento se debe a la diferencia de presión que se genera en el punto donde el material a extruir entra en la boquilla y la salida donde la presión que se tiene en ese punto es atmosférica.

Igualmente, existe una relación entre el diámetro de la boquilla y las características del tornillo. Puesto que, mayor diámetro del dado y tornillo de canal más profundo y corto, el caudal extruido aumenta. Mientras, que a dado con diámetro menor y tornillo poco profundo y largo, la presión aumenta en la boquilla lo que genera mayor cantidad de producto extruido. Además, la humedad de la mezcla es muy importante para la crujencia o textura del producto pero el aumento del contenido de proteína en la mezcla reduce las posibilidades de una extrusión con expansión (Beltrán & Marcilla, 2012).

Asimismo, el dado tiene dos funciones principales: dar forma al producto final y promover la resistencia al flujo de material dentro del extrusor, permitiendo un aumento tanto en la presión como en la fuerza de cizalla. Por consiguiente, incide en la calidad físico-química y textura del producto extruido, con base a la anterior mención, el dado puede presentar varios diseños y número de orificios (Bouvier y Campanella, 2014).

**Tamaño de la partícula:** el tamaño del griz de la matriz alimentaria está dado por el tipo y diseño del extrusor y del snack que se quiere obtener. Sin embargo, Lezcano & Cuggino, (2017) mencionan que el tamaño adecuado de las partículas utilizadas en la extrusión no está estandarizado, depende en gran parte de las características de las materias primas y la configuración del extrusor. Por lo tanto, es necesario conocer las características y diseño del equipo, previo al acondicionamiento de las materias primas ya que el tamaño de partícula a extruirse, es importante para el procesamiento y es mejor trabajar con tamaños gruesos para el mejor funcionamiento del equipo (Lezcano & Cuggino, 2002).

Además, se debe considerar que las partículas de menor tamaño o harinas no son adecuadas para trabajar en un extrusor de un solo tornillo debido a que se funden de manera instantánea dentro del barril y perjudican la expansión así que se debe

considerar que el tamaño de la matriz alimentaria sea el adecuado para trabajar al interior del extrusor (Riaz & Rokey, 2017).

Por otra parte, las partículas grandes retrasan la gelatinización hasta justo antes de salir del dado ya que el tamaño de la partícula afecta la facilidad de cocción, la expansión del producto y la relativa contracción del producto terminado (Lezcano & Cuggino, 2002) (Riaz & Rokey, 2017).

El modelo de extrusor usado en la investigación, no permite trabajar con harinas muy finas esto se debe a que causan problemas en la zona de alimentación, tampoco es recomendable trabajar con partículas muy gruesas puesto que el extrusor tiene un dado con orificio de salida de diámetro de 3 mm; partículas mayores a éste causarían la obstrucción del mismo, además también retardan la gelatinización hasta antes de la descarga del dado de salida. Las partículas muy finas brindan una rápida gelatinización y además también una baja viscosidad del fluido, propiedades que en el proceso de extrusión no son convenientes. Cabe mencionar que esto se puede corregir bajando la humedad para demorar así la gelatinización. (Encina et al., 2012).

**Formulación de las mezclas:** la finalidad de formular las mezclas de diferentes materias primas es obtener un producto extruido con altos índices de expansión, además de que conserve el color característico de las materias primas empleadas, así como también su sabor, su funcionalidad y con la menor pérdida de su valor nutricional. Además, la calidad de los almidones de diferentes orígenes dar resultados muy diferentes en el grado de expansión, por lo que es de vital importancia conocer el origen biológico de los almidones y la humedad de la mezcla que va a ser extruida, ya que estos valores tienen influencia directa con los parámetros de calidad del producto extruido (Moscicki & Zuilichem, 2011)

## **VENTAJAS DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN**

Según Guy et al., (2001) la extrusión se caracteriza por ser un proceso altamente eficiente, con un sin número de ventajas como por ejemplo: facilidad de operación, innovación de nuevos productos extruidos, facilidad de procesar materias primas de diversas fuentes naturales con nuevas formulaciones permitiendo adecuar el



valor nutricional según las diferentes necesidades, bajo costo de producción, tecnología de fácil manejo, reducidas pérdidas de nutrientes durante el proceso gracias al sistema de HTST, eficiencia energética durante el proceso, inactivación de enzimas y factores anti nutricionales y por último productos con bajas cargas microbianas.

La extrusión posee diferentes tipos de aplicaciones como se observa en la tabla 1.

**Tabla 1.** Aplicaciones del proceso de extrusión

<b>ALIMENTACIÓN HUMANA</b>	<b>ALIMENTACIÓN ANIMAL</b>	<b>USO INDUSTRIAL</b>
Cereales de desayuno listos para comer	Cereales, oleaginosas y legumbres precocidas o ingredientes para alimentos	Industria del papel
Snacks (salados y dulces)	Balanceados	Industria textil
Alimentos para bebés	Alimentos para rumiantes, cerdos, aves, animales de piel, peces, etc.	Fundiciones metalúrgicas
Sopas instantáneas	Procesamiento de subproductos o desechos de la industria alimentaria:	Perforación de pozos de petróleo
Sustitutos de carne	Residuos de la industria de la pesca	Adhesivos y agentes ligantes
Proteínas vegetales texturizadas	Residuos de la industrialización de aves, cerdos y vacunos	Coadyuvantes de insecticidas y fungicidas
Harinas compuestas y enriquecidas	Residuos de la industrialización de lácteos, panificación y frutas	
Sustitutos lácteos		
Aditivos de panificación		
Almidones modificados		
Productos de confitería		
Pastas (fideos)		
Bebidas en polvo		
Ingredientes de sopas		
Galletitas		

**Fuente:** (Apró, Rodríguez , Gornatti, TSIA, & Cuadrado, 2000)

## LOS SNACK

La elaboración de alimentos tipo snacks genera un gran desafío para la innovación productos que permitan complacer a los consumidores; la necesidad de conseguir alimentos que puedan ser consumidos a la par con el ritmo de vida diario, y que contribuyan nutricionalmente con la salud de los consumidores (Bustos, 2016). Sin embargo, las frutas y los vegetales son los únicos snacks que se pueden considerar como saludables, esto se debe a que son alimentos frescos y no procesados, la fabricación de snacks está enfocando gran parte de sus investigaciones a la innovación de nuevos productos que suministren tanto la facilidad del consumo como los importantes aspectos nutricionales y de salud deseados por el mercado de los consumidores (Pineda, 2014).

De acuerdo con Rosentrater & A. Evers, (2018), los snacks con bajo aporte nutricional son considerados no nutricionales porque en su composición nutricional poseen un alto contenido de azúcar refinada, grasa saturada o sal, de manera que los autores asemejan a los snacks no saludables con barras de chocolate, papas fritas, pastelitos y confitería en general. En contraste, los snacks nutritivos poseen características opuestas: son bajos en grasa, azúcar y sodio, por lo tanto contienen pocas calorías (Bustos, 2016). Entre los snacks saludables se encuentran alimentos con granos enteros, frutas y verduras, nueces y semillas, también están los productos lácteos bajos en grasas y azúcar como es el caso de los yogures (Romero, Díaz, & Aguirre, 2016).

Pese a la popularidad que han tenido los snacks, siguen considerándose comida chatarra. Por esta razón, con la ayuda de la tecnología y las formulaciones mejoradas se busca cambiar de concepto, consiguiendo cada vez más productos con altos contenidos nutricionales (Ritva, Pilco, & Zelada, 2011). El proceso más importante para lograr modificar la calidad de los snacks es la extrusión, puesto que se han diseñado nuevas formulaciones que sean adecuadas para el funcionamiento del equipo pero que conserven la mayor cantidad de nutrientes como vitaminas, antioxidantes y micronutrientes (Romo, 2012).

## **MATERIAS PRIMAS DESTINADAS AL PROCESO DE EXTRUSIÓN**

La extrusión transforma diferentes materiales alimenticios para crear una gran variedad de nuevos productos destinados a diferentes sectores (alimentación animal, acuicultura, snack y aperitivos, cereales para desayuno, productos para confitería, alimentación infantil, análogos de carne). Llopart, (2011), menciona que los materiales más utilizados en extrusión son los granos y harinas de cereales ricos en almidón:

- El maíz: este cereal ha sido ampliamente utilizado en los procesos de extrusión por su facilidad de expansión en altas y bajas temperaturas y a su reducido costo.
- La avena: es un cereal que necesita altas temperaturas y humedades para ser extruida, debido a su alto contenido de lípidos y a su bajo contenido de carbohidratos.
- El arroz: por su color blanco y su gran capacidad de expansión, lo hacen ideal para productos a base de cereal y botanas.
- La cebada: debido a su muy particular y suave sabor, este cereal ha sido muy utilizado en el proceso de extrusión.
- El sorgo: posee características muy similares al maíz, pero al contrario de este los productos extruidos adquieren un color más tostado y un sabor característico menos agradable que el maíz.
- El trigo: al igual que la avena, este cereal requiere altas temperaturas y humedades para su expansión debido a que en su composición se encuentran altos contenidos de proteína y gluten.
- El centeno: tiene un sabor característico y color negro. Se comporta de manera similar al trigo.
- El triticale: este es un cereal híbrido del trigo y la cebada, por lo tanto, necesita de altas temperaturas y humedades para lograr la expansión debido a sus altos contenidos de proteína.

## **Raíces y tubérculos**

Según Espín et al., (2003) son considerados como fuente importante de materias primas para el proceso de extrusión, debido su alto contenido de almidón:

- Tapioca: el producto extruido de este tubérculo posee color claro y requiere de temperaturas alta y humedades moderadas para lograr un producto expandido y blando.
- La papa: para este tubérculo se necesitan bajas temperatura y humedades para expandir adecuadamente la harina de papa.

### **2.5.1. MATERIAS PRIMAS UTILIZADAS EN LA INVESTIGACIÓN**

Las materias primas (MP) indicadas en la formulación de alimentos extruidos son las que poseen un alto contenido de almidones tales como tubérculos y cereales, a continuación, se describe las MP que se utilizaron en esta investigación.

#### **2.5.1.1. LA MASHUA**

La mashua según Espín et al., (2003), es una planta de crecimiento anual, herbácea perenne, cuyo crecimiento es semipostrado y trepadora alcanzando fácilmente los 2 metros de altura debido a sus tallos cilíndricos, también presenta un follaje compacto, con hojas de color verde oscuro en el haz y más claras en el envés. Las hojas tienen lámina redondeada y el pecíolo inserto en el centro.

Grau, A., Ortega, R., Nieto, C., Hermann, (2003) afirman que la mashua presenta flores solitarias de distintos colores que van desde el anaranjado hasta el rojo oscuro. El número de estambres varía de 8 a 13, y el tiempo que permanece abierta oscila entre 9 y 15 días. Los tubérculos miden de 5 a 15 cm de largo, tienen forma cónica alargada, yemas profundas, y variados colores como el amarillo, blanco, rojizo, morado, gris y negro, con jaspes oscuros en la piel como se muestra en la Figura 4. El tubérculo posee una textura arenosa y contiene 15 % de proteínas, con alto porcentaje de carbohidratos y 80 % de agua. Debido a la presencia de isotiocianatos, que también se encuentran en la mostaza y los rabanitos, la mashua tiene un sabor acre y picante, pero que desaparece con la cocción volviéndose dulce (Ecológico, 2007)



**Figura 4.** Mashua *Tropaeolum tuberosum*

El tubérculo de mashua está considerado como uno de los más importantes después de la papa, melloco y oca; este cultivo está presente en los valles húmedos de la zona andina de Perú, Colombia, Argentina, Ecuador y Bolivia. Así mismo, se conoce que la planta heredaria es de la meseta peruano-boliviano. Sin embargo, ahora se la puede encontrar en países como Canadá, Europa y Nueva Zelanda (Barrera et al., 2004). El cultivo se lo realiza en asociación con siembras de papa, oca y melloco, por lo que se obtienen tubérculos con diversidad de colores. Además, se le considera una planta rustica y de cultivo reducido. La mayor parte de las variedades de este tubérculo ha ido perdiéndose con el pasar del tiempo (Cgiar et al., 2014).

Asimismo, la mashua posee una textura arenosa, con un sabor acre y picante debido a la presencia de isotiocianinos, en cuanto a su composición química presenta un 15 % de proteínas, 80 % en su contenido es agua y un 46 -48 % de almidón (Espín et al., 2003) del cual un 27% es amilosa y un 73% es amilopectina (Barrera et al., 2004). En efecto, la amilopectina la responsable de la expansión, de estar en grandes cantidades en el almidón de maíz convirtiéndole una excelente MP para la extrusión.

#### **2.5.1.2. TAXONOMÍA DE LA MASHUA**

En la Tabla 2 se indica la taxonomía de las materias primas que se utilizaron para la realización de la presente investigación, en la elaboración de un extruido en base de una matriz alimentaria de griz de maíz - griz de mashua.

**Tabla 2.** Taxonomía morfológica de mashua

	<b>MASHUA</b>
<b>Clase</b>	Dicotiledóneas
<b>Orden</b>	Geraneales
<b>Familia</b>	Tropaeolaceae
<b>Género</b>	Tropaeolum
<b>Especie</b>	T. tuberosum
<b>Nombre científico</b>	Tropaeolum tuberosum
<b>Nombre común</b>	Mashua,

**Fuente:** (Valladares, 2010), (INIAP, 2011)

### **2.5.1.3. PRODUCCIÓN NACIONAL DE MASHUA**

En la actualidad, el cultivo de la mashua se desarrolla desde Colombia hasta Argentina y se sabe que ha sido cultivada con éxito en Nueva Zelanda. Todavía en la actualidad, entre los 2 900 y sobre los 3000 msnm se encuentran especies que crecen de manera silvestres que podrían ser los ancestros de este cultivo (Cgiar et al., 2014). Actualmente en los andes ecuatorianos, la mashua se cultiva en parcelas de pequeños productores indígenas y campesinos; que forman pequeñas asociaciones las cuales pertenecen al ministerio de agricultura y ganadería (MAG) este cultivo se desarrolla en asociación con melloco, oca y papas nativas por lo que no es fácil conocer su área real cultivada y sus rendimientos específicos (Grau, A., Ortaga, R., Nieto, C., Hermann, 2003).

Según investigaciones realizadas en el sector Norte de la provincia de Cotopaxi, los rendimientos de la mashua, podrían llegar hasta los 750 qq/ha (Barrera et al., 2004). Sin embargo, la tendencia decreciente en el consumo de este tubérculo provoca la disminución de las áreas de cultivo en el sector urbano, así como también en el sector rural a pesar de que su consumo en ciertas zonas rurales se mantiene, sobre todo en la población perteneciente al grupo de la tercera edad (Grau, A., Ortaga, R., Nieto, C., Hermann, 2003). Por el contrario, el consumo de maíz se ha visto en aumento gracias a que se lo considera como materia prima en distintos procesos agroindustriales.

### **2.5.1.4. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MASHUA**

En la Tabla 3 se describe los valores proximales de la mashua, la cual tiene un alto contenido de carbohidratos (75% en base seca), así como ácido ascórbico (67 mg

por 100 g en base fresca). En cuanto a su contenido de proteína puede variar de 6,9 % a 9,7 % en base seca. Distintas variedades de mashua, pueden poseer cantidades apreciables de carotenos (vitamina A) y de vitamina C (77 mg en 100 g de materia fresca comestible), siendo este valor cuatro veces más alto que la cantidad de vitamina C encontrada en la papa (Unocanc, 2011). Un estudio realizado por la FAO en los Andes peruanos, determina la siguiente composición por cada 100 gramos de mashua.

**Tabla 3.** Composición química de la mashua en base seca

PARÁMETROS	UNIDAD	RANGO
Humedad	%	88,70
Cenizas	%	4,81
Proteína	%	9,17
Grasa	g	0,7
Fibra	%	5,86
Vitamina A	Eq. Retinol/100g mf	73,56
Vitamina C	(mg/100g mf)	77,37
Carbohidrato total	%	75,40

**Fuente:** (Espín et al., 2003).

### 2.5.1.5. PERFIL DE AMINOÁCIDOS

En la Tabla 4 se presenta el perfil de aminoácidos presentes en la mashua.

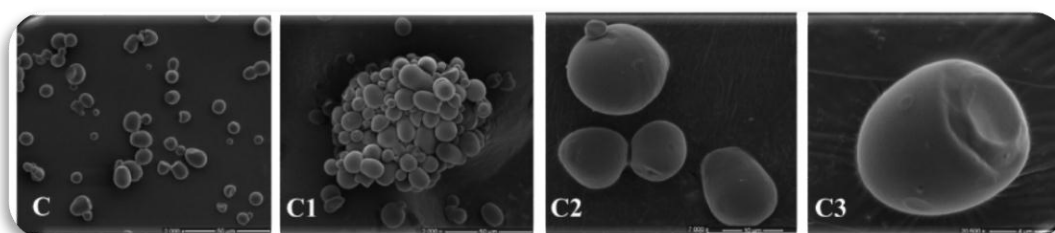
**Tabla 4.** Perfil de aminoácidos de la mashua

Aminoácidos	mg/g proteína	g/100g proteína
Esenciales		
<b>Fenilalanina</b>	83,80	8,38
<b>Histidina</b>	126,00	12,60
<b>Isoleucina</b>	103,00	10,30
<b>Leucina</b>	56,81	5,68
<b>Lisina</b>	34,81	3,48
<b>Metionina</b>	115,00	11,50
<b>Treonina</b>	72,05	7,20
<b>Triptófano</b>	---	---
<b>Valina</b>	112,00	11,20

**Fuente:** (Barrera et al., 2004)

### 2.5.1.6. ALMIDÓN DE MASHUA

Según Valcárcel, Rondán, & Finardi, (2013) los gránulos de almidón de mashua son más pequeños en comparación con los de oca y melloco y presentan gránulos ovalados, esféricos 4,07 y 13.09  $\mu\text{m}$  de diámetro como se muestra en la Figura 5.



**Figura 5.** Almidón de mashua visto en diferentes lentes.

Fuente: (Valcárcel, Rondán, & Finardi, 2013)

El origen de las plantas puede ser el responsable de la morfología del almidón. Es decir, depende de la bioquímica de los amiloplastos, así como de la fisiología vegetal. Por otra parte, los gránulos de almidón de mashua presentaron similitud con los gránulos de almidón de yuca (Valcárcel et al., 2013).

Por otra parte, la composición química la mashua mostró mayor contenido de proteínas, lípidos, fibra insoluble y azúcares totales y menor contenido de almidón con relación a la oca y melloco. Asimismo, en el contenido de amilosa y amilopectina se puede mencionar que la mashua posee el 27,4% de amilosa (Valcárcel et al., 2013).

### 2.5.2. EL MAÍZ

El maíz, el trigo y el arroz se consideran las gramíneas más importantes en la alimentación humana ya que aporta elementos nutritivos a los seres humanos y a los animales, también para la agroindustria por ser una materia prima básica en la industria de elaboración de alimentos, con la que se elaboran almidón, aceite y proteínas, bebidas alcohólicas, edulcorantes alimenticios y, desde hace poco, combustible (Quiroz & Merchán, 2016).

Los granos de maíz están conformados especialmente de tres partes: el pericarpio, el endospermo y el germen (Naves et al., 2011). El pericarpio es la cubierta del



grano, su función es de elemento protector. La reserva energética del grano es el endospermo, y ocupa hasta el 80% del peso del grano y principalmente es almidón. Presentando en su contenido aproximadamente el 90% de almidón y el 9% de proteína, además de pequeñas cantidades de aceites, minerales y elementos traza. El germen posee una planta en miniatura, además de cantidades altas de energía en forma de aceite, que tiene como función nutrir a la nueva planta cuando empieza su periodo de desarrollo y muchas otros nutrientes necesarios durante el proceso de germinación (Sánchez, 2014).

La producción de maíz duro, el (70%) a la industria de alimentos de uso animal; el segundo destino del maíz lo representan las exportaciones (22%) y el restante lo comparten la producción de semillas y el consumo humano (Sánchez, 2014).

### 2.5.2.1. PRODUCCIÓN NACIONAL DE MAÍZ

El maíz se encuentra en el segundo lugar en la producción mundial de cereales que ha servido como materia prima para la elaboración de un sin número de productos alimenticios (Lusero, 2014). Por lo tanto, la alimentación animal ocupa la mayor parte de esta producción, en especial en países desarrollados. Así mismo, solo una pequeña proporción (10 a 15%) es destinado a consumo directo como alimento o se procesa para producir subproductos como almidón, harinas, maíz, copos de maíz y jarabes (Naves et al., 2011). El maíz, en el Ecuador, se cultiva en 21 provincias, las mayores productoras son las provincias de Los Ríos, Manabí, Guayas y Loja, Tabla 5, esto según el III Censo Nacional Agropecuario 2000.

La distribución geográfica de las provincias productoras de maíz duro:

**Tabla 5.** Producción de maíz en el Ecuador

	Provincias	(%)
Costa 80%	Los Ríos	40%
	Manabí	18%
	Guayas	19%
	Esmeraldas y El Oro	3%
Sierra 17%	Loja y Bolívar	17%

**Fuente:** (Quiroz & Merchán, 2016).

La producción y rendimiento muestran cambios notables del año 2000 al 2013. En producción las cifras se han triplicado de 420 mil t (2000) a 1.4 millones t (2013), resultado atribuible al aumento del rendimiento que se tuvo durante la última década. Los rendimientos promedio nacionales han pasado de 1,64 t/ha registradas en el año 2000 a 4,65 t/ha (MAG, 2013).

#### 2.5.2.2. COMPOSICIÓN QUÍMICA DEL MAÍZ

En cuanto a la composición nutricional del maíz, sobresale la importante cantidad de hidratos de carbono que contiene. Aunque su aporte vitamínico no es considerable, si se puede mencionar su aporte importante de minerales tales como el magnesio, el fósforo y el potasio (Naves et al., 2011) expuestos en la Tabla 6.

**Tabla 6.** Composición nutricional del maíz en base seca

<b>Nutriente</b>	<b>Unidad</b>	<b>Rango</b>
Humedad	%	12,5
Proteínas	%	9,2
Fibra cruda	%	2,2
Grasas	%	3,8
Almidón	%	62,6
Otros HCO	%	8,4
Minerales	%	1,3

Fuente: (INIAP, 2011)

## PROPIEDADES REOLÓGICAS DE LOS ALIMENTOS DURANTE EL PROCESO DE EXTRUSIÓN

Las propiedades químicas de las materias primas utilizadas para alimentar al extrusor, tiene alta influencia en la textura y el color del producto extruido. Fellows, (2007) afirma que dentro de la gama de factores que se deben controlar para no ver afectado el producto extruido tenemos:

- Tipo de materiales alimentados
- Contenido de agua
- Estado físico de los materiales

- Su composición química, particularmente los tipos y cantidades de almidones, proteínas, grasa y azúcares
- El pH del material húmedo

La composición química de la matriz alimentaria, su humedad y tamaño de la partícula tienen influencia en la viscosidad de la mezcla durante la extrusión. Por lo tanto, se puede decir que la viscosidad es un factor decisivo en la calidad del producto final (Gulati et al., 2016).

Al extruir la matriz alimentaria con alta presión y temperatura, la matriz tiende a alterarse en su composición y características organolépticas. En primer lugar, pierde grandes cantidades de agua, alarga su tiempo de vida útil. Sin embargo, en ese periodo de tiempo pierde compuestos aromáticos y la textura característicos del extruido (Rao, 2014).

La variedad de materias primas utilizadas para la extrusión da forma a snacks completamente diferentes, aunque las condiciones de operación de la maquinaria sean las mismas, esto se debe a los diferentes tipos y cantidades de almidón, proteínas y humedad, además de otros compuestos (Fellows, Extrusión, 2007).

- **Almidón:** El almidón, es la reserva de energía en las plantas, también es el mayor compuesto en el contenido de las semillas de cereales, legumbres, tubérculos, raíces, frutas, tallos y hojas (Semeijn & Buwalda, 2011).

El almidón tiene una estructura semicristalina que refleja la unión granular y evita la dispersión en agua a temperatura ambiente. El calentamiento del almidón en presencia de agua puede gelatinizar y dispersar los gránulos de almidón nativo (Jasim Ahmed, 2012).

Los almidones de diferentes orígenes botánicos muestran propiedades de gelatinización características, que reflejan las distintas estructuras moleculares del almidón y la organización cristalinas de doble hélice dentro de los gránulos de almidón (Semeijn & Buwalda, 2011).

El almidón es un carbohidrato complejo conformado de unidades de glucosa que consiste en amilosa y amilopectina (Shahidi & Yeo, 2016). En el proceso de extrusión, la gelatinización del almidón es el principal responsable de las

variaciones del barril, en esta etapa, el gránulo de almidón absorbe agua y en el instante de salida de la boquilla del extrusor la presión que se ejerce sobre el agua hace que esta se transforme a vapor y el almidón sufre un proceso de alineamiento, rizado y rotura (Tovar, Peragan, Enriquez, Pismag, & Fernandez, 2017).

Asimismo, los complejos de almidón-lípidos pueden alterar la temperatura y viscosidad de la gelatinización afectando las condiciones de procesamiento (Tovar et al., 2017). Por otra parte, los almidones de tubérculos tendrán menos lípidos y proteínas en la matriz, en comparación con los almidones de cereales. Por otra parte, la mayoría de los componentes de sabor están basados en lípidos, por lo tanto los almidones de tubérculos tienen un sabor más sutil que los almidones de grano de cereal y también, presentan altas temperaturas de gelatinización (Altan, 2012).

Por otra parte, al someter el almidón al agua caliente surgen dos fracciones, el elemento más soluble o amilosa que se disuelve promoviendo el incremento en la viscosidad y la amilopectina que permanece insoluble (Tovar et al., 2017). En los cereales la amilasa representa el 10-20% y la amilopectina el 90-80% del almidón total (Shahidi & Yeo, 2016).

Cabe señalar que, el límite mínimo de contenido de almidón en el proceso de extrusión, para obtener una expansión favorable es del 60-70%. Se ha indicado que el contenido de amilopectina es directamente proporcional a la obtención de texturas expandidas homogéneas y elásticas, en cambio, a altos contenidos de amilosa se obtienen extrudidos duros y poco expandidos (Shahidi & Yeo, 2016) (Bhatnagar & Hanna, 1994).

Asimismo, a contenidos de humedad homogéneos e incremento de la temperatura los almidones con mayor contenido de amilopectina son más blandos que los almidones ricos en amilosa, esto favorece el índice de expansión debido a que los gránulos de almidón absorben agua del medio y se hinchan (Tovar et al., 2017).

- Amilosa: la amilosa tiene una estructura básicamente lineal (Llopart, 2011), posee una gran capacidad de actuar con los lípidos (Tovar et al., 2017). También, puede asociarse con otras moléculas de amilosa dando lugar a una

retrogradación para finalmente cristalizar. Sin embargo, esta molécula no es soluble en agua, pero puede formar micelas hidratadas por su capacidad para enlazar moléculas por puentes de hidrógeno. Por otro lado, a altos contenidos de amilosa conducen a obtener extruidos duros, con menor índice de expansión radial y con altos contenidos de humedad (Tovar et al., 2017).

Asimismo, la amilosa de los almidones de cereales tiene un tamaño molecular promedio mucho más pequeño que los almidones de tubérculos y raíces (Jasim Ahmed, 2012). La distribución del peso molecular de la amilosa es monomodal, aunque, las amilasas de los almidones de tubérculos y raíces muestran una distribución más estrecha con moléculas menos pequeñas que las de los almidones de cereales (Jasim Ahmed, 2012).

Además, el tamaño molecular de la amilosa disminuye con el aumento del contenido de amilosa de los almidones de maíz y cebada (Salinas, Pérez, Castillo, & Álvarez, 2003). La ubicación de la amilosa en los gránulos de almidón ha sido influenciada por el contenido de amilopectina. Es decir, en los almidones con bajo contenido de amilosa esta se localiza en los anillos de crecimiento amorfos mientras que la amilosa está encapsulada por una superficie de amilopectina, pero separada por una amilopectina centro, lo que sugiere que un aumento en el contenido de amilosa causa más separación de las moléculas de amilopectina (Jasim Ahmed, 2012).

Por lo tanto, la amilosa puede intercalarse aleatoriamente como moléculas individuales tanto en las regiones amorfas como en las cristalinas del gránulo o cristalizarse con moléculas de amilopectina (Semeijn & Buwalda, 2011). La gelatinización química de la superficie de almidones de patata y maíz ha indicado que la amilosa está más concentrada en la periferia del gránulo que en la parte interior del gránulo con cadenas de amilosa más pequeñas que predominan cerca de la superficie del gránulo (Neder et al., 2016).

- Amilopectina: la amilopectina tiene una estructura ramificada (Llopart, 2011). Se ha sugerido, que a altos contenidos de amilopectina se obtienen extruidos con texturas expandidas homogéneas y elásticas, la amilopectina es

parcialmente soluble en agua caliente, por lo que se puede decir que los gránulos de almidón absorben agua caliente hasta hincharse (Martínez, Viveros, Galicia, Nabeshima, & Verdalet, 2011). Por lo tanto, si se continua con la aplicación de temperatura se obtendrá una posterior ruptura del granulo; a esta temperatura se la conoce como rango de gelatinización y es diferente para cada tipo de materia prima, obteniendo al final del proceso una pasta viscosa o un gel (Guerrero, 2014).

Tan importante como la amilosa es la fracción de amilopectina del almidón (Semeijn & Buwalda, 2011). Aunque, en la industria del almidón se cree que la amilopectina genera soluciones estables, de hecho, las soluciones de amilopectina también son retrógradas y parte de la retrogradación de las pastas de almidón es definitivamente causada por la cristalización de la amilopectina (Jasim Ahmed, 2012).

La velocidad y la cantidad de retrogradación dependen del grado de ramificación o, más específicamente, de la longitud de la cadena externa de la amilopectina. Por ejemplo, la amilopectina cerosa del arroz tiene muy poca tendencia a la retrogradación. Mientras que la amilopectina de maíz y papa retrocede más fuertemente. La estructura de la amilopectina es muy compleja, está muy ramificada y tiene un alto peso molecular (Semeijn & Buwalda, 2011).

- **Proteínas:** los resultados de la acción de las proteínas sobre la expansión van a depender del tipo y concentración de la misma. Por esta razón, tiene efecto sobre la expansión a través de su capacidad de alterar la distribución del agua en la matriz debido a su estructura y conformación macromolecular, lo que a su vez afecta a las propiedades de la masa en estado fluido (Phillips & Williams, 2012). Durante el proceso de extrusión, las proteínas se desnaturalizan y disminuye su solubilidad debido a la cizalla, ya que algunos enlaces se rompen por el aumento de la temperatura y de la fricción, formando nuevas estructuras. (Llopart, 2011). La extrusión de mezclas con alto contenido de proteína afecta directamente el índice de expansión. Sin embargo, la extrusión mejora la digestibilidad de las proteínas por desnaturalización, por lo cual expone los sitios accesibles a las enzimas. El grado de desnaturalización a menudo se estima por los cambios en

la solubilidad de la proteína en agua o soluciones acuosas. Dichos cambios son mayores bajo condiciones de extrusión de alto cizallamiento (Altan, 2012).

Myat & Ryu,(2014) menciona que se debe disminuir la temperatura del tratamiento térmico para disminuir el porcentaje de pérdida de nutrientes y la desnaturalización de la proteína durante la extrusión. El aumento de la digestibilidad de la proteína podría ser el resultado de la desnaturalización de las proteínas durante la extrusión, haciéndolos más susceptibles a la actividad de la pepsina lo que conduce a una mejor digestibilidad (Myat & Ryu, 2014).

- 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. Por otro lado, el aumento de la concentración de fibra tiene un efecto neutro o ligeramente reductor en el aporte de energía mecánica (Altan, 2012).

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

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, 2012).

- Lípidos: Los lípidos libres en cantidades menores al 5% tienen la función de lubricantes, reduciendo la conversión de energía mecánica en el extrusor, así como el índice de expansión. Sin embargo, es importante controlar la cantidad de lípidos, ya que contenidos de lípidos más del 5-6% perjudican el rendimiento del extrusor en algunos casos, una pequeña variación de lípidos puede afectar el producto. Los lípidos también pueden debilitar la estructura celular, causando fusión y porosidad (Altan, 2012).

Los aceites de los cereales, las grasas añadidas y los aceites de leguminosas que serán extruidos, sufren un proceso de emulsión debido a la fuerte presión a que son sometidas las finas gotas de grasa y son recubiertas por los almidones y proteínas, quedando la grasa encapsulada. En el proceso de extrusión se tiene una disminución del contenido de grasa debido a la temperatura y a la velocidad del tornillo que se emplean en la extrusión por lo que se tiene como resultado la degradación de los lípidos (Tovar et al., 2017).

La grasa líquida o sólida afecta el rendimiento del extrusor de diferentes maneras según su tipo y concentración y el diseño y las condiciones de operación del extrusor. Si 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. Sin embargo, los lípidos 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, 2012).

- Azúcares: Fernández, (2010) menciona que los azúcares se mezclan con los demás ingredientes de las materias primas y junto con los lípidos actúan como lubricantes, reduciendo la conversión mecánica de energía y grado de expansión del producto extruido. Asimismo, Guy et al., (2001) afirma que las materias primas ricas en azúcares necesitan mayor tiempo de residencia dentro del tornillo durante el proceso de extrusión para una adecuada cocción; cuando los niveles de azúcares son altos, la reducción de la actividad del agua en el extrusor de tornillo sinfín puede ocasionar un incremento en la viscosidad
- Contenido de humedad: Guy et al., (2001) menciona que el contenido de humedad de la matriz alimentaria tiene relación directa con la viscosidad, la densidad aparente, el índice de expansión y la resistencia a la rotura de las burbujas de aire del producto extruido. Además, Rodríguez et al., (2014) afirma que a altas temperaturas y contenidos de humedad provocan la gelatinización de los gránulos de almidón aumentando la viscosidad de la masa fundida. Asimismo, se alcanzan índices de absorción y de solubilidad en agua a contenidos bajos de humedad. Sin embargo, Vílchez, Guevara, & Encina,



(2012) indican que a mayor contenido de humedad el grado de gelatinización del almidón es mayor así como la modificación de los almidones siempre que haya suficiente energía mecánica durante la extrusión para romper la unión intermolecular del almidón (Riaz & Rokey, 2015).

El mayor contenido de humedad y a las temperatura elevadas causan la gelatinización del almidón produciendo una masa plastificada viscosa, ya que los granulo de almidón se hinchan y se hidratan al absorber el agua por lo que las partículas más pequeñas de maíz se cuecen más rápido que las grandes lo que hace que afecte a la textura el producto final (Fellows, 2007).

Además, 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 par motor una temperatura del producto más baja y una mayor densidad del producto. En general el efecto del contenido de humedad en la presión del troquel es mayor que el de la disminución de la temperatura resultante. Por lo tanto la presión del troquel generalmente disminuye al aumentar el contenido de humedad (Altan, 2012).

## **CAMBIOS NUTRICIONALES DE LAS MATERIAS PRIMAS**

El proceso de extrusión posee efectos sobre los distintos componentes de la materia prima entre los más importantes están:

- La gelatinización del almidón: es la ruptura del orden molecular del granulo de almidón manifestando un cambio irreversible en las propiedades como hinchamiento granular, fusión de las regiones cristalinas, perdida de birrefringencia y la solubilización del almidón en agua (Ding, Ainsworth, Plunkett, Tucker, & Marson, 2006). El punto inicial de gelatinización y el rango de temperatura en el cual ocurre está relacionado por la concentración del almidón en la suspensión, método de observación, tipo granular y la heterogeneidad de la población de gránulos observados (Semeijn & Buwalda, 2011).

Los almidones crudos presentes en los cereales en forma de gránulos al tener contacto con humedad y temperatura sufren un primer cambio que es la hinchazón de su molécula y luego hay una difusión de amilosa hasta finalmente convertirse en un gel debido a la formación de amilopectina, dicho proceso de transformación de pasar de almidones crudos al estado de gel, se denomina gelatinización o cocción de los almidones (S/A, 2008).

Los puntos críticos que marcan la gelatinización son: Rompimiento del orden molecular, la gelatinización es irreversible y está ligada a la humedad de la matriz alimentaria y la temperatura (pérdida de birrefringencia). se incrementa el tamaño granular, debido al hinchamiento al que se somete por las altas temperaturas, asimismo aumenta la viscosidad de la solución, respecto a la velocidad de calentamiento, el pH y proporción de sólidos, cambia con respecto a la fuente botánica del granulo y la proporción de amilosa y amilopectina (Valcárcel et al., 2013).

- **Desnaturalización de las proteínas:** Diversos cambios en la proteína se dan en el proceso de extrusión la desnaturalización de la proteína es uno de los más importantes cambios, la mayoría de las enzimas pierden actividad con el uso del extrusor, menos las que son estables al calor y a la fricción disminuyendo la solubilidad de la proteína en agua luego de un proceso de extrusión. Lo significa que sus constituyentes “ aminoácidos” forman otros compuestos no hidrolizables con otros aminoácidos o azúcares (S/A, 2008).

Luque Guillen, (2011) menciona que la desnaturalización de las proteínas “Consiste en la pérdida de la estructura terciaria, por romperse los puentes que forman dicha estructura. Todas las proteínas desnaturalizadas tienen la misma conformación, muy abierta y con una interacción máxima con el disolvente, así, proteína soluble en agua cuando se desnaturaliza se hace insoluble en agua y precipita”.

Durante el proceso de desnaturalización se rompen las interacciones débiles que mantienen estable la conformación, pero se mantienen los enlaces covalentes del esqueleto polipeptídico, es decir, se pierden las estructuras secundarias,

terciaria y, en su caso, cuaternaria, pero permanece intacta la secuencia de aminoácidos (Pérez, Betancur, Casotto, Carmona, & Tovar, 2007).

La desnaturalización se puede producir por cambios de temperatura, variaciones del pH. En algunos casos, si las condiciones se restablecen, una proteína desnaturalizada puede volver a su anterior conformación, proceso que se denomina renaturalización (Luque Guillen, 2011).

- **Vitaminas:** Sevaton & Huber, (2000) manifiestan que los efectos en la estabilidad en las vitaminas durante el proceso de extrusión son complejos debido a la humedad, fricción, altas temperaturas y presiones, además, cada vitamina posee características propias de estabilidad durante los procesos térmicos.

Las vitaminas liposolubles A, D y E, son medianamente resistentes durante el proceso de extrusión. Adicionalmente, el contenido de humedad de la matriz alimentaria durante la extrusión evita las pérdidas vitamínicas (Dergal, 2012). Lo que se concluye que ha, mayor nivel de humedad en el proceso da como resultado más vitaminas retenidas. En cuanto, a las vitaminas hidrosolubles, del grupo B y la vitamina C, pueden perder estabilidad durante la extrusión. El proceso de extrusión en húmedo provoca pérdidas de vitamina C, si no es protegida

## **PARÁMETROS DE CALIDAD DE LAS MATERIAS PRIMAS Y DE LOS PRODUCTOS EXTRUIDOS**

En la elaboración de un alimento extruido es muy importante seleccionar adecuadamente las materias primas, asimismo, la calidad del producto final dependerá en un 70% de la calidad de las materias primas utilizadas para dicho proceso, además, otro aspecto importante que hay que tener en consideración es el costo de las materias primas ya que representa el 85% del costo del alimento extruido (Seth, Badwaik, & Ganapathy, 2015).

Para los alimentos extruidos se consideran numerosas características cuando se trata de determinar su calidad, entre ellas están sus propiedades organolépticas, el valor nutricional, su índice de solubilidad en agua, el índice de absorción de agua,

índice de expansión, densidad aparente y textura instrumental, cada una de estas características o parámetros se detallarán a continuación.

- Valor nutricional: según Severson & Huber (2000) los cambios nutricionales son poco preocupantes en algunos alimentos extruidos, la prevención o reducción de la destrucción de nutrientes, junto con las mejoras en la digestibilidad del almidón o la proteína, son claramente importantes en la mayoría de las otras aplicaciones. La extrusión también permite la inactivación de varios factores antinutricionales y otras enzimas de deterioro (Krisetherton, 2002).

En definitiva, según Camire, Camire, & Krumhar (2012) la calidad nutricional se alcanza cuando la extrusión se usa específicamente para producir alimentos nutricionalmente balanceados o enriquecidos. Los efectos nutricionales beneficiosos van desde una mayor digestibilidad de las proteínas y el almidón hasta la preparación de alimentos de bajo costo, enriquecidos con proteínas o nutricionalmente equilibrados (Cheftel, 1986) (Seth et al., 2015). Las pérdidas de las propiedades nutricionales en los alimentos extruidos dependen del tipo de materia prima, contenido en agua, tiempo y la temperatura en el proceso, sin embargo, las condiciones HTST de la extrusión con cocción y el enfriamiento rápido del producto a la salida de la boquilla, hacen que la disminución de vitaminas y aminoácidos esenciales sean relativamente bajas. Dependiendo del tiempo al que el alimento es expuesto a una temperatura elevada, las pérdidas de vitamina C pueden ser de hasta 50-90%.

De acuerdo, con las condiciones de la extrusión, las pérdidas en Lisina, cistina y metionina son, en los derivados del arroz, del 50-90%. Las elevadas temperaturas y la presencia de azúcares en el medio, provocan la reacción de Maillard y afectan a la calidad de la proteína del alimento. Por otro lado, temperaturas bajas y concentraciones bajas en azúcares, provocan cambios en la estructura de las proteínas que mejoran su digestibilidad.

- Índice de expansión (IE): Valenzuela et al., (2017) menciona que el índice de expansión está relacionado con la cantidad de almidón sobre todo cantidades de amilosa y amilopectina siendo esta la principal responsable de atribuir la

característica de expansión a las materias, esto se debe a que durante la extrusión el almidón genera estructuras con mayor número de poros y tamaños aumentando así la expansión radial.

De igual manera, aquellos extrudidos con un alto contenido de almidón requieren mayor cantidad de humedad para obtener altos índice de expansión, ya que los cambios en las propiedades funcionales como el índice de expansión y la densidad aparente , en los productos extrudidos se atribuyen en gran parte a la gelatinización del almidón (Rodríguez et al., 2014).

También, se puede mencionar que existe una relación directa entre índice de expansión y velocidad del tornillo, donde la energía mecánica específica generada por este factor, permite modificar las propiedades termo-mecánicas de los materiales alimenticios y favorecer el índice de expansión de los productos (Valenzuela et al., 2017). Además, se ha encontrado que existe un incremento del índice de expansión conforme aumenta la temperatura en el rango 130 a 150°C, pero a temperaturas superiores a 150°C se presenta un efecto negativo de la temperatura de extrusión sobre el índice de expansión (Valenzuela et al., 2017).

Esto se debe a que a medida que la temperatura aumenta a un nivel alto, los materiales alcanzan rápidamente el estado fundido y la viscosidad del fundido era relativamente pequeña, así que la generación de burbujas se reducía. En cuanto al contenido de humedad, el índice de expansión disminuyó linealmente cuando se elevó, ya que la acción de lubricación del agua redujo la viscosidad de la masa fundida, acortando el tiempo para cortar y calentar los materiales (Wu, Liu, Wang, Li, & Mao, 2015).

(Jozinoviç; Subariç, s. f.) menciona que la adición de cereales o tubérculos a la mezcla a extruir aumenta el índice de expansión, mismo que fue menor cuando la proporción de cereales y tubérculos en la mezcla fue mayor. A mayor proporción de expansión en extrudidos con una proporción de cereal: arroz 70:30, el aumento en la concentración de cereales por encima del 70% disminuyó el índice de expansión, es posible que esto se deba a una alta

proporción de proteína y fibra en los cereales y tubérculos en relación con el arroz.

Las proteínas actúan en el grado de expansión a través de su capacidad para influir en la distribución del agua en la matriz y a través de su estructura y conformación macromolecular que afecta a las propiedades de alargamiento durante la cocción por extrusión, la razón de esto puede ser una modificación de las propiedades viscoelásticas de la masa como resultado de la competencia por el agua disponible entre la proteína y el almidón, lo que conduce a una desaceleración de la gelatinización del almidón y, en consecuencia, a un menor contenido de humedad y expansión del producto (Jozinoviç; Subariç, s. f.).

- Densidad Aparente (DA): según Valenzuela et al., (2017) la densidad aparente es inversamente proporcional al índice de expansión y es el resultado de la formulación de ingredientes, la temperatura y velocidad de tornillo del extrusor. Este comportamiento se puede deber al mayor contenido de almidón en la formulación. Ya que, la densidad aparente disminuye al incrementar el contenido de amilosa; el almidón de papa posee mayores cantidades de este componente que el almidón de maíz.

Las densidades obtenidas sean altas o bajas para los productos extruidos van a depender en gran medida la velocidad del tornillo cuyos efectos son lineales sobre la densidad aparente así como también de las interacciones de la temperatura y la humedad, debido a que un aumento en estas variables de extrusión favorece la gelatinización del almidón provocando una mayor expansión y una menor densidad aparente (Gulati et al., 2016)

Valenzuela et al., (2017) indica que, a mayor contenido de proteína, menor índice de expansión y por ende mayor densidad aparente. La presencia de grasa y proteína, son factores que disminuyen el índice de expansión y aumentan la densidad aparente, en el caso de la temperatura de extrusión y la velocidad del tornillo se presentó un efecto inverso sobre la aparente respecto al índice de expansión, como se explicó anteriormente.

- Índice de solubilidad en agua (ISA): según Yağci, (2008) El ISA incrementado que se encuentra en productos extruidos puede estar relacionado a los

componentes de menor peso molecular, que pueden ser separados con bastante facilidad el uno del otro cuando en el procesamiento las condiciones son más severas la solubilidad tiende a aumentar linealmente con el aumento de la temperatura, la variación de la temperatura y la humedad no afecta en la variación del índice de solubilidad (ISA) de los productos extruidos.

Se observa que a temperaturas mayores a 190 °C y humedades altas se incrementan la solubilidad, esto se debe a la alta dextrinización de los almidones que poseen las harinas de leguminosas y cereales (Tovar et al., 2017). Así pues, el índice de solubilidad de agua (ISA), puede variar entre 16 a 46 en extruidos con alto contenido de almidón como en el maíz, y de 11.8 a 35 en extruidos de frijol, donde el contenido de almidón es bajo y el de proteína alto (Rodríguez et al., 2014).

Así mismo Yağci (2008) dice que el aumento en los valores de ISA pueden deberse a una mayor degradación por cizallamiento del almidón durante el proceso de extrusión en condiciones de baja humedad, entonces los valores elevados de ISA pueden deberse a la desintegración de los gránulos de almidón y a que los compuestos de bajo peso molecular se derriten durante el proceso de extrusión por lo que se concluye que el índice de solubilidad en agua es inversamente proporcional a la porosidad pero que se relaciona muy bien con la densidad aparente.

Además, ISA está directamente relacionado con el grado de gelatinización del almidón que se produce dentro del extrusor (Gulati et al., 2016), mientras que el grado de gelatinización durante la extrusión, al igual que con el IAA, se ve afectado negativamente por el contenido de grasa y proteína presentes en la dieta a extrudir (Gulati et al., 2016). En general, ISA aumenta a medida que aumenta la temperatura, debido a la despolimerización del almidón y de otras macromoléculas presentes en la mezcla, dicho efecto también debe de aplicarse para el tamaño molecular de las proteínas (Rodríguez et al., 2014).

De igual manera, el alto contenido de humedad durante la extrusión incrementa el porcentaje de almidón gelatinizado y pueda disminuir la desnaturalización de

las proteínas y la degradación del almidón, obteniéndose valores menores de ISA (Tovar et al., 2017), debido a la aplicación de valores menores de esfuerzos de corte ocasionados por la disminución de la viscosidad de la mezcla. Las proteínas pueden interactuar con el almidón a través de la formación de enlaces cruzados. Esto podría evitar la solubilización de la amilosa, disminuyendo así el ISA (Rodríguez et al., 2014).

- Índice de absorción en agua (IAA): según Yağci (2008) la absorción de agua generalmente se le atribuido a la dispersión de almidón en exceso de agua, y la dispersión aumenta por el grado de daño del almidón debido a la gelatinización y la fragmentación inducida por extrusión, es decir, la reducción del peso molecular de las moléculas de amilosa y amilopectina. Además, el IAA es un indicador de la capacidad del almidón para absorber agua, la cual depende de la disponibilidad de grupos hidrófilos que se unen a moléculas de agua y en la capacidad de las macromoléculas para formar un gel (Neder et al., 2016), generalmente se acepta que la temperatura del barril y la humedad del alimento ejercen un mayor efecto sobre el extruido al promover la gelatinización, el IAA se da por la interacción de dos factores que son temperatura y humedad, así pues, cuando disminuye la humedad y se eleva la temperatura de extrusión de manera proporcional se mantienen valores altos en cuanto al IAA (Yağci & Göğüş, 2008).

Por el contrario, cuando disminuyen los valores de humedad también disminuyen los valores de IAA, esto se debe a que las proteínas de las leguminosas al estar desnaturalizadas por la temperatura de extrusión pierden la capacidad de hidratación pasando de la forma globular a la forma fibrilar, reduciendo de esta manera su capacidad para retener agua (Tovar et al., 2017). Así pues, el valor de IAA aumentan a temperaturas de extrusión altas pero estos valores disminuyen en función de la velocidad del tornillo (Neder et al., 2016).

El IAA se encuentra influenciado por la temperatura, a bajas temperaturas, la gelatinización del almidón es baja minimizando la cantidad de daño a la estructura del almidón. Mientras que a altas temperaturas de extrusión causan la fusión de los cristales de las moléculas de amilopectina, generando más daño



al almidón (dextrinización y destrucción de la estructura del almidón), disminuyendo el IAA. Se ha encontrado que la humedad de la alimentación es el factor principal que se encontró que el almidón soluble aumentó con el aumento de la temperatura de extrusión y la disminución de la humedad del alimento (Ding et al., 2006).

## **TEXTURA INSTRUMENTAL**

La textura es la cualidad sensorial más importante de los alimentos extruidos (Guy et al., 2001) definiéndose desde el punto de vista psicofísico como un conjunto de propiedades físicas mismas que son percibidas por los sentidos del tacto y el gusto (Chakraborty et al., 2009).

La textura es la percepción sensorial de la estructura de los alimentos y la manera en que esta estructura reacciona a las fuerzas instrumentales aplicadas (Paula & Conti-Silva, 2014). Además, se puede decir que es la unión de todos los atributos mecánicos, geométricos y superficiales de un producto alimentario, los cuales se los puede analizar mediante receptores mecánicos, táctiles, visuales y auditivos (Chakraborty et al., 2009). Así, la textura se puede relacionar con la deformación y desintegración del alimento cuando se aplica una fuerza (Guy et al., 2001).

La evaporación instantánea del agua contenida en el almidón fundido que sale del barril del extrusor da origen a la textura característica de los alimentos extruidos (Anton & Luciano, 2007). Así, la alta presión contenida dentro del extrusor sufre una reducción brusca a la presión atmosférica, el agua contenida en la mezcla cambia de estado líquido a vapor (Guy et al., 2001). A medida que las burbujas de vapor salen del almidón fundido el producto se estira y la matriz se fija debido al enfriamiento evaporativo. Las burbujas de aire quedan atrapadas en la matriz y se forma la estructura inflada característica. La textura de los productos extruidos depende de la distribución de tamaños de la célula y del espesor de la pared de las células (Ibarz, Barbosa, Garza, & Gimeno, 2000).

Otro punto en consideración para la textura de los alimentos es la reología de la matriz alimentaria la cual tiene un efecto significativo sobre el índice de expansión y por lo tanto sobre la textura final del extruido (Ding et al., 2006). Las variables

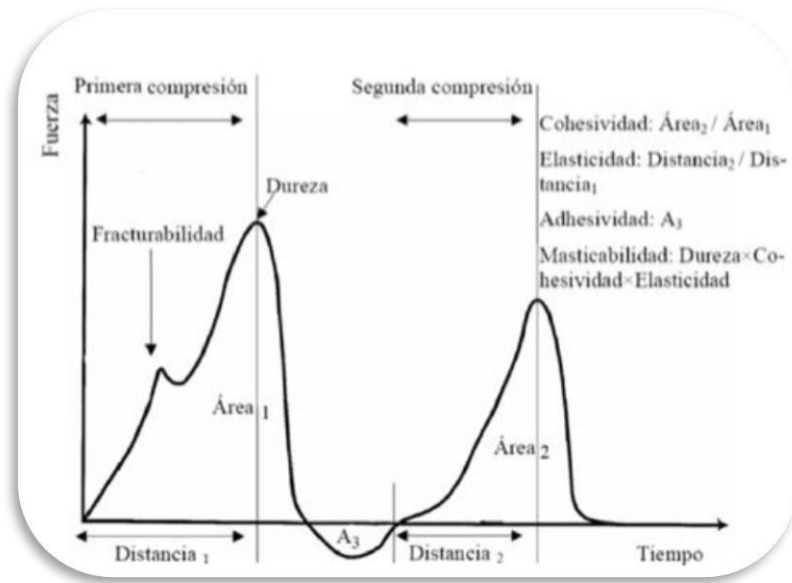
que tienen influencia sobre las propiedades reológicas de la matriz alimentaria fundida se controlan mediante la formulación inicial a ser extruida, el perfil de temperatura del extrusor, el contenido de humedad de la matriz, la velocidad y configuración del tornillo y la distribución de filetes. Además, en la textura intervienen los complejos formados por los hidratos de carbono, proteínas y lípidos los cuales actúan sobre la reología de la mezcla fundida y la textura del producto (Ibarz et al., 2000). Además, la textura puede evaluar algunas propiedades o atributos tales como la crocancia, la elasticidad, el esfuerzo de ruptura y la viscosidad.

La textura se clasifica en dos grupos de mayor importancia como son: la textura sensorial, que son medidas subjetivas de un panel de catadores expertos los que determinan las características de textura y la textura instrumental se determina mediante el uso de instrumentos que proporcionan medidas objetivas y que determinan características mecánicas de textura de los alimentos (Ibarz et al., 2000). Los métodos instrumentales se basan en que el alimento es sometido a un esfuerzo cortante cuyo efecto se transforma en una deformación de las propiedades físicas del alimento (Vásquez & Lucía, 2017).

El conocimiento de la textura de los alimentos es considerado de gran importancia para determinar la aceptabilidad del alimento por el consumidor ya que este prefiere alimentos que le resulten agradables sensorialmente y esta aceptación se la puede relacionar con la calidad del producto (Guy et al., 2001). Un conocimiento adecuado de las características de textura puede favorecer a las grandes industrias dedicadas a la producción de alimentos a mejorar los procesos para obtener alimentos de calidad con una amplia gama de texturas (Chakraborty et al., 2009).

### **2.5.3. PERFIL DE TEXTURA**

El análisis de perfiles de textura es un experimento que involucra dos o más ciclos de compresión de una muestra entre dos superficies paralelas y en el que obtiene una gráfica de la fuerza aplicada en relación al desplazamiento.



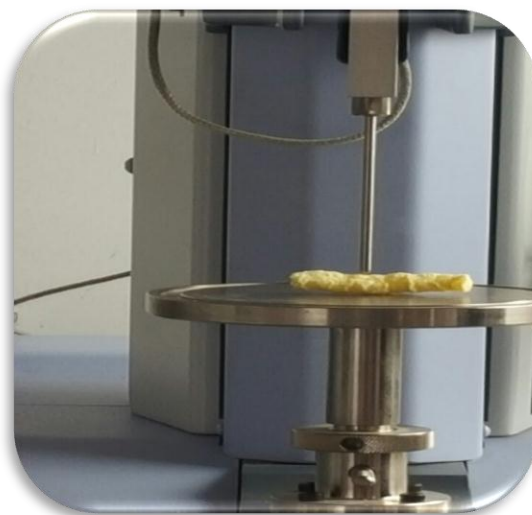
**Figura 6.** Curva de un análisis de perfil de textura

Fuente: (Ibarz et al., 2000)

El análisis de perfil de textura (TPA) es un experimento, en la Figura 6 se muestra una curva típica que relaciona fuerza-tiempo del análisis de textura, en la cual se puede obtener los diferentes parámetros del perfil de textura. Así, Ibarz et al., (2000) menciona que la dureza es el primer pico de fuerza en el primer ciclo de fuerza en el primer ciclo de compresión. La fracturabilidad se define como la caída de fuerza en la curva para la primera mordedura. La cohesividad es la relación entre las áreas bajo la región de fuerza positiva en la primera y segunda compresión. La gomosidad es el producto de la dureza y la cohesividad. La adhesividad es el área en la zona negativa (Vásquez & Lucía, 2017).

Entre los dispositivos de ensayo instrumentales, los texturómetros imitan condiciones de masticación y presentan excelentes correlaciones con evaluaciones sensoriales de la textura (Varela, Ares, & Fiszman, 2013). Razón por la que, se han utilizado de manera amplia para tomar medidas de textura en los diferentes tipos de alimentos. Mientras al análisis sensorial en la boca, las características percibidas incluyen atributos mecánicos (dureza, crujencia, fracturabilidad), atributos geométricos (relativas a la forma, tamaño y orientación de las partículas dentro de la comida) y los atributos relativos a la percepción de la humedad o grasa contenido en los alimentos.

**Fuerza por punción:** Este análisis es el más simple y utilizado para determinar medidas objetivas de textura. Para este experimento es necesario penetrar la muestra con un punzón Figura 7 y la fuerza requerida para comprimir y fracturar la muestra se relaciona con las propiedades sensoriales de los alimentos (Paula & Conti-Silva, 2014).



**Figura 7.** Determinación de textura por punción

La determinación de fuerza por punción se asemeja a las grandes deformaciones de la rotura producidas por la fuerza que aplican los dientes para morder el producto (Anton & Luciano, 2007).

Asimismo, es la fuerza requerida para comprimir el extruido. Este atributo mantiene una relación inversamente proporcional a la expansión del producto. La dureza requerida para snacks extruidos expandidos es baja debido a su facilidad de consumo y su mercado objetivo. En efecto, se necesita extruidos menos compactos, con paredes celulares delgadas y un tamaño de celda de aire grande (Altan, 2012).

Por lo tanto, se evalúa la fuerza ejercida para comprimir un alimento entre los molares o entre la lengua y el paladar.

Los aperitivos que presentan mayores valores en las pruebas de punción son los que tienen forma de concha mientras que para los de forma cilíndrica presentan valores altos en las pruebas de corte en v y guillotina.

**Fuerza por guillotina:** se asemeja a la fracturabilidad y masticabilidad en esta determinación de utiliza una sonda tipo guillotina Figura 8



**Figura 8.** Medición de textura por guillotina

La dureza determinada con el corte guillotina se asemeja a la fuerza de quiebre ejercida por los dientes y se la conoce como la fuerza con la que un alimento se quiebra o cruje. Asimismo, La sensación crujiente y de frescura en alimentos extruidos, está asociado con la fragilidad o poco esfuerzo de fractura y la dureza de quiebre total del alimento.

Por lo tanto, la crujencia del alimento se conoce al ruido generado por el extruido al momento de masticarlo. Dicho atributo mantiene una relación directa con la expansión y la estructura celular del producto. Un producto con mayor crujencia se obtiene cuando este presenta menor densidad, una pared celular delgada, un tamaño y número de celdas mayor. De hecho, se requiere menos fuerza para romper un producto muy crujiente (Altan, 2012).

Además, la dureza y quiebre de estos productos va a depender de la distribución de las burbujas de aire, el contenido de lípidos y la humedad del producto final (Vásquez & Lucía, 2017). En efecto, los snacks extruidos más deseables por los consumidores son los que presentan valores bajos de fracturabilidad.

## **ATRIBUTOS DE CALIDAD SENSORIAL**

Las propiedades organolépticas según Ruiz et al.,(2017) son las características organolépticas del extruido y están dadas por la textura, apariencia y sabor, que son los principales atributos sensoriales. Así, esta prueba está basa en el grado de aceptación o rechazo del producto por parte del consumidor, ya sea comparándolo con uno del mercado, con un producto nuevo con diferentes formulaciones o simplemente con un cambio en alguno de los componentes con el fin de mejorarlo. Se debe tener claro el propósito y el aspecto o atributo que se va a medir (Hernández, 2016).

Así mismo, las características organolépticas del extruido están dadas por el tipo de extrusión a la que someten. Al emplear temperaturas altas el producto extruido perderá más cantidad de agua, resultando productos con menor humedad, lo que significa mayor tiempo de vida útil. Por el contrario, en la extrusión en frío se obtendrán productos con alta actividad de agua, pero la perdida de cualidades es mínima (Riaz & Rokey, 2015).

➤ **TEXTURA:** la textura está considerada como uno de los atributos sensoriales más importante en los productos extruidos. Esta característica se debe a la rápida evaporación del agua razón por la cual se obtiene la textura característica de los productos extruidos cuando el almidón fundido sale del troquel del extrusor (Hernández, 2016). Como la presión se reduce súbitamente en el extrusor desde una alta presión hasta la presión atmosférica, el agua cambia de líquido a vapor. A medida que las burbujas de vapor salen del almidón fundido, el producto se estira y la matriz se fija debido al enfriamiento evaporativo. Las burbujas de aire quedan atrapadas en esta matriz y se forma la estructura inflada característica. (Ruiz et al., 2017) la textura de los productos extruidos va a depender de la distribución del tamaño de las células y del espesor de la pared de las células.

En la investigación llevada a cabo por Vásquez & Lucía, (2017) la reología de la mezcla posee un efecto específico sobre el mecanismo de expansión y por lo tanto sobre la textura del producto final. Las propiedades reológicas de la mezcla fundida se controlan mediante la formulación, el perfil de temperatura,

el contenido de humedad en el cilindro, la velocidad del tornillo y el perfil del tornillo (que afecta a las fuerzas de cizalla en el extrusor) y el diseño del troquel. La interacción de hidratos de carbono como proteínas y lípidos tienen un efecto sobre la reología de la mezcla fundida y sobre la textura del producto. Además, la textura del producto también se ve afectada por el diseño del troquel y las operaciones post extrusión.

- **EL COLOR:** de muchos alimentos extruidos se los evaluó mediante el sentido de la vista este sentido percibe las propiedades sensoriales externas de los productos alimenticios como lo es principalmente el color, aunque también se perciben otros atributos como la apariencia, la forma, la superficie, el tamaño, el brillo, la uniformidad y la consistencia visual (textura), como ya se dijo con el sentido de la vista se perciben los colores los cuales se relacionan por lo general con varios sabores, no importa que sean agradables o no, esto se debe a la experiencia que tenga cada individuo (Hernández, 2016).

En cuanto al proceso de extrusión el color se debe a la decoloración que sufre el producto debido a la expansión, también se puede deber a un tratamiento térmico excesivo, o debido a las reacciones que se provocan en las proteínas, los iones metálicos y los azúcares reductores, constituye en algunas ocasiones un problema para la extrusión de algunos alimentos. Por otro lado, en la extrusión en frío, entre los ingredientes añadidos a la materia prima se incluyen saborizantes. En la extrusión en caliente no es recomendable este procedimiento ya que es inadecuado, debido a que se volatilizará a la salida de la boquilla del extrusor. (Escalante et al., 2016).

- **OLOR Y AROMA:** Otro aspecto importante es el olor y el aroma, el primer atributo tiene que ver con el producido por los alimentos por la volatilización de sustancias que se esparcen por el aire llegando hasta la nariz y el segundo consiste en la percepción de sustancias aromáticas de un alimento después de colocarlo en la boca. Al igual que el sentido de la vista las sensaciones percibidas pueden ser agradables o desagradables de acuerdo a las experiencias del individuo (Hernández, 2016).

- **SABOR:** En cuanto al sentido del gusto es el que determina si un producto alimenticio es aceptable o no para ser consumido debido a que el sentido del gusto hace referencia a los sabores en los alimentos (Ruiz et al., 2017). Este atributo hace referencia a la combinación de tres propiedades: olor, aroma y gusto. Cuando un individuo o catador se encuentra resfriado no puede percibir olores ni sabores, es por esto que cuando se realice una evaluación sensorial de sabor, no sólo se debe tenerse en cuenta que la lengua del panelista este en perfectas condiciones sino además que no tenga problemas con la nariz y con la garganta (Escalante et al., 2016).

El sabor de un producto que se va a evaluar, debe ser enmascarado, ya que este se ve influenciado por otras propiedades como el color y la textura, evitándose así que el catador se vea influenciado en sus respuestas, por estas propiedades (Hernández, 2016).



## **CAPÍTULO III**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO**

Las pruebas preliminares y el desarrollo experimental se realizaron en la ciudad de Ibarra, parroquia El Sagrario en las unidades eduproductivas de la carrera de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Técnica del Norte.

La materia prima fue el tubérculo de mashua amarilla zapallo que tenga buenas características físicas, sin daños mecánicos y con madurez que se consigue 15 días después de la cosecha, tiempo que se concentran los sólidos que tiene (Cortez, 2016), para la investigación se obtuvo el tubérculo de los productores de Gonzáles Suárez del cantón Otavalo.

Los análisis físico químicos (humedad, fibra, proteína, carbohidratos y lípidos) del griz de mashua mostrados en porcentajes, así como los análisis de textura instrumental (punción y guillotina) se realizaron en el Laboratorio de Análisis Físicos, Químicos y microbiológicos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Técnica del Norte. El análisis de almidones (almidón, amilosa y amilopectina), así como los análisis funcionales del producto extruido (índice de solubilidad de agua, índice de absorción de agua) se realizaron en el Laboratorio de Servicio de Análisis e Investigación de Alimentos en el Departamento de Nutrición y Calidad de la estación Experimental Santa Catalina (INIAP) mientras que los análisis químicos (humedad, fibra, proteína, carbohidratos y grasa ) del alimento extruido se realizaron en el laboratorio de nutrición animal de la facultad de ciencias agrícolas de la Universidad Central del Ecuador

### 3.1.1. UBICACIÓN DEL EXPERIMENTO

Los datos climatológicos y de localización del área donde se desarrolló el experimento en la ciudad de Ibarra, se muestran en la Tabla 7.

**Tabla 7.** Datos climatológicos del lugar de experimentación

Parámetros		Rango
Temperatura promedio anual	°C	17,9
Humedad relativa	%	72
Nubosidad	8vo de cielo	6
Presión	mmhg	781,6
Altitud	msnm	2256
Pluviosidad	Mm	503-1000/año
Ubicación geográfica		00 °19'47" latitud sur

**Fuente.** Granja Experimental "Yuyucocha", Ibarra (2016)

### 3.1.2. MATERIALES Y EQUIPOS

Se describen los materiales y equipos que se utilizó en la investigación (Tabla 8).

**Tabla 8.** Materiales y Equipos utilizados en la experimentación.

Materia Prima	Equipos	Herramientas	Reactivos
gritz de amarilla Mashua	Balanza analítica	Fundas herméticas	Ácido sulfúrico
gritz de Maíz	Extrusor de tornillo simple	Material de oficina	Ácido clorhídrico
	Calibrador	Utensilios	Hidróxido de sodio
	Secador de bandejas	Material de vidrio	Alcohol
	Molino		
	Penetrómetro		
	Tamiz vibratorio marca Gibson		
	Termómetro		
	Estufa		
	Baño María		
	Centrifuga		
	Mufla		
	Horno		

### 3.1.3. MÉTODOS

En la investigación se utilizó 4 kg de gritz de (maíz y mashua) obtenidos del proceso de secado, molienda y tamizado, con una granulometría de 2mm de diámetro, para obtener una mezcla homogénea en el proceso de extrusión.

### 3.1.4. FACTORES EN ESTUDIO

En la presente investigación se utilizó los siguientes factores de estudio, “factor A” evaluó tres mezclas entre gritz de maíz-gritz de mashua (Tabla 9) y el “factor B” evaluó dos diámetros de la boquilla del extrusor (Tabla 10).

FACTOR A: mezcla de materias primas (matriz alimentaria)

**Tabla 9.** Factor A

<b>Factor A</b>	Mezcla de gritz de maíz-gritz de mashua
<b>A1:</b>	85% gritz de maíz 15% -gritz de mashua
<b>A2:</b>	90% gritz de maíz 10%-gritz de mashua
<b>A3:</b>	95% gritz de maíz 5% -gritz de mashua

FACTOR B: diámetros de la boquilla del extrusor (dado)

**Tabla 10.** Factor B

<b>Factor B:</b>	Diámetros de la boquilla del extrusor
<b>B1:</b>	3 mm
<b>B2:</b>	5 mm

### 3.1.5. TRATAMIENTOS

Para la investigación se utilizó 6 tratamientos, resultado de la combinación de los dos factores de estudio, tres mezclas de materias primas y dos diámetros de la boquilla del extrusor. A continuación, se describe la nomenclatura de los tratamientos (Tabla 11).

**Tabla 11.** Nomenclatura de los tratamientos.

<b>Trat</b>	<b>Nomenclatura</b>	<b>Detalle</b>
<b>T1</b>	A1B1	85 % gritz de maíz y 15% gritz de mashua + 3mm (85/15)
<b>T2</b>	A1B2	85 % gritz de maíz y 15% gritz de mashua + 5mm (85/15)
<b>T3</b>	A2B1	90 % gritz de maíz y 10% gritz de mashua + 3mm (90/10)
<b>T4</b>	A2B2	90 % gritz de maíz y 10% gritz de mashua + 5mm (90/10)
<b>T5</b>	A3B1	95 % gritz de maíz y 5% gritz de mashua + 3mm (95/5)
<b>T6</b>	A3B2	95% gritz de maíz y 5% gritz de mashua + 5mm (95/5)

### **3.1.6. DISEÑO.**

Se utilizó el Diseño Completamente al Azar (DCA), con 6 tratamientos y 3 repeticiones, con arreglo factorial A x B el “Factor A” mezcla de materias primas, el “factor B” diámetro de la boquilla.

### **3.1.7. CARACTERÍSTICAS DEL EXPERIMENTO**

Número de Repeticiones: (tres) 3

Número de Tratamientos: (seis) 6

Número de Unidades experimentales: (diez y ocho) 18

### **3.1.8. UNIDAD EXPERIMENTAL**

El experimento estuvo constituido por 18 unidades experimentales, cada unidad experimental peso 200g, de la mezcla de gritz de maíz -gritz de mashua para la obtención del alimento extruido.

### **3.1.9. ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

El análisis estadístico se realizó mediante el esquema de varianza que se muestra en la Tabla 12.

**Tabla 12.** Esquema de análisis de varianza

<b>FUENTE DE VARIACIÓN</b>	<b>GL</b>
Total	17
Tratamientos	5
Composición de la mezcla (Factor A)	2
Diámetro del orificio (Factor B)	1
AXB	2
Error experimental	12

### **3.1.10. ANÁLISIS FUNCIONAL**

El análisis estadístico de Tukey al 5% en caso de encontrar diferencia significativa en los tratamientos y diferencia media significativa (DMS) en caso de encontrar diferencia en los factores estudiados. Prueba de Friedman para análisis no-paramétricos.

Para determinar el coeficiente de variación del análisis de varianza planteado en esta investigación se utilizó la ecuación 1.

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

Donde:

CV=Coeficiente de variación

CM=Cuadrado medio

E Exp=Error experimental

X= media

### 3.1.11. DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN FÍSICO QUÍMICA DE LA MATERIA PRIMA Y DEL PRODUCTO EXTRUIDO

Las características químicas se evaluaron en el Laboratorio de nutrición animal de la facultad de ciencias agrícolas de la Universidad Central del Ecuador, las variables que se midieron son: Humedad, Proteína, Fibra, Carbohidratos. Estas variables fueron medidas en materia prima y producto terminado, en cuanto a amilosa y amilopectina fueron medidas en los laboratorios de servicio de análisis e investigación en alimentos de la estación experimental Santa Catalina (INIAP).

### 3.1.12. VARIABLES CUANTITATIVAS

Se realizó la evaluación química, para determinar la composición de las materias primas (gritiz de mashua – maíz) antes del proceso de extrusión (Tabla 13).

**Tabla 13.** Parámetros analizados en gritiz de (maíz - mashua)

<b>Análisis</b>	<b>Método</b>	<b>Norma</b>
Humedad	Desecación en estufa	<b>AOAC 925.10</b>
Proteína	Incineración en mufla	<b>AOAC 920.87</b>
Fibra	Fibert test	<b>AOAC 978.10</b>
Grasa	Sohxlet	<b>AOAC 920.85</b>
Carbohidratos	Diferencia	<b>DIFERENCIA</b>
Amilosa	Morrison y Laignelet 1983	<b>MO-LSAIA-04</b>
Amilopectina	Morrison y Laignelet 1983	<b>Diferencia</b>

### 3.1.13. MÉTODOS DE ANÁLISIS

Se realizó el análisis proximal para la materia prima y el producto extruido con los mismos métodos basados en las normas AOAC, se realizó el análisis por triplicado para asegurarse de su fiabilidad.

➤ **Humedad**

Su finalidad es determinar la cantidad de agua que tiene el producto terminado; se empleó el método de ensayo AOAC 925.10

➤ **Proteína**

Este análisis determina la concentración de nitrógeno presente en la muestra para luego ser transformado a través de un factor en proteína. Se utilizó el método descrito en la Norma AOAC 920.87

➤ **Fibra**

Su finalidad es determinar la fibra cruda en alimentos de los cuales la grasa ha sido extraída para dejar un residuo adecuado. Se utilizó el método descrito en la Norma AOAC 978.10

➤ **Lípidos**

Su finalidad es determinar la grasa cruda que contienen las muestras por medio del método de extracción directa SOHXLET. Se utilizó el método descrito en la Norma AOAC 920.85

➤ **Carbohidratos Totales**

El contenido de carbohidratos se determinó después de realizado todo el análisis proximal en las muestras en estudio, el valor de carbohidratos se determinó con la ecuación 2.

$$\% \text{ C. T} = 100 - \% \text{ Humedad} - \% \text{ Proteína} - \% \text{ Extracto Etéreo} - \% \text{ Ceniza} \quad (2)$$

➤ **Amilosa y Amilopectina**

La determinación de amilosa y amilopectina se realizó con el método colorimétrico de Morrison y Laignelet (1983). El contenido de amilopectina se calculó por diferencia del contenido de amilosa mediante colorimetría (MORRISON; LAIGNELET, 1983). (ANEXO 2)

### 3.1.14. DETERMINACIÓN DE CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES EN PRODUCTO EXTRUIDO

VARIABLES DE RESPUESTA PARA DETERMINAR EL COMPORTAMIENTO DE LOS PRODUCTOS EXTRUIDOS Tabla 14.

**Tabla 14.** Parámetros analizados en producto terminado

Análisis	Método	Referencia
Textura	Punción, guillotina	(Anton & Luciano, 2007)
Índice de expansión	Fórmula	(Valenzuela et al., 2017)
Densidad aparente	Fórmula	(Valenzuela et al., 2017)
Índice de absorción en agua	Anderson y Col. 1969	MO-LSAIA-04
Índice de solubilidad en agua	Anderson y Col. 1969	MO-LSAIA-04

#### ➤ Índice de expansión seccional (IE):

Se determinó el diámetro seccional promedio de todas las muestras, una vez terminado el proceso de extrusión se tomaron 10 muestras diferentes de 4cm de largo de cada unidad experimental; y con un calibrador medir el diámetro de cada muestra y sacar la media.

Con los valores de diámetro medios de cada unidad experimental se procedió a dividir el diámetro de la muestra para el diámetro de la boquilla del troquel utilizado (Valenzuela et al., 2017). El índice de expansión se determinó mediante la ecuación 3.

$$ID = \frac{\text{diámetro de la muestra (cm)}}{\text{diámetro de la boquilla (cm)}} \quad (3)$$

#### ➤ Densidad aparente (DA):

Para densidad aparente según Valenzuela et al., (2017) se escogen 5 piezas de extruidos de 5 cm de longitud por cada tratamiento. Se evaluó el peso de cada



muestra en una balanza analítica con 0.1g de precisión y se midió por triplicado el diámetro de cada pieza con un Calibrador. La densidad de la muestra se calculó en g/cm<sup>3</sup> según se muestra en la ecuación 4.

$$DA = \frac{\text{peso muestra}}{\pi \left( \frac{\text{diámetro de la muestra}}{2} \right)^2 \text{longitud de la muestra}} \quad (4)$$

➤ **Índice Solubilidad en agua (ISA):**

Se utilizó la técnica de Anderson y col. (1969) modificado por González y col. (2002), la cual consiste en dispersar 2,5 g de muestra en 50 ml de agua destilada en un tubo de ensayo con agitación intermitente durante 30 minutos y luego centrifugar a 2000xg. En la fase sobrenadante se determina los sólidos dispersos, evaporando en estufa a 105°C. La solubilidad se expresa como el porcentaje de los sólidos dispersados respecto a 100 g de harina, sobre base seca. Ecuación 5. (Anexo 4)

$$ISA = \frac{\text{Peso de solubles (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)}} \times 100 \quad (5)$$

➤ **Índice Absorción de agua (IAA):**

Se utilizó un equipo Baumman, según la técnica originalmente propuesta por Torgensen y Toledo (1977) y utilizada normalmente en laboratorio (González y col., 1995). Este método consiste en medir la captación libre de agua producida por la muestra, en función del tiempo. Para lo cual, se colocó sobre un papel filtro, 50 mg de la muestra (previamente molida), uniformemente distribuida. El papel con la muestra se apoyó cuidadosamente sobre un vidrio poroso, el cual se encuentra sobre un receptáculo inundado de agua destilada. El nivel de agua del sistema receptáculo- vidrio poroso fue conectado a una pipeta (a través de un tubo desde el fondo del receptáculo) en posición horizontal que permitió ir midiendo el agua absorbida, ecuación 6.

$$IAA = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)}} \quad (6)$$

➤ **Fuerza por punción:**

Para el análisis de textura por punción se recolectó las muestras inmediatamente después de salir del extrusor como lo sugiere Anton & Luciano (2007), se tomaron 10 muestras longitudinales de 4 cm las cuales fueron tomadas aleatoriamente de cada muestra experimental. Para la determinación de dureza, se utilizó un equipo Texturómetro Shimadzu EZ-SX carga max. 50N y velocidad de 1mm/s; además el análisis se realizó en diez repeticiones para cada muestra experimental y se procedió a sacar el valor medio mediante el cual se tiene un valor confiable para la textura por punción.

➤ **Fuerza por corte guillotina:**

Las muestras fueron sometidas al mismo equipo, sin embargo, se utilizó una sonda diferente, la cual dio el valor medio de crocancia. Para la realización del análisis se procedió igual que en el análisis de textura por punción (Anton & Luciano, 2007).

### **3.1.15. DETERMINACIÓN DE COMPOSICIÓN FÍSICO QUÍMICA EN EL PRODUCTO EXTRUIDO**

Se realizó la evaluación química (humedad, proteína, fibra, grasa, carbohidratos), para determinar la composición de los productos extruidos. Los métodos de determinación fueron los mismos que se utilizaron para la materia prima.

### **3.1.16. ANÁLISIS SENSORIAL**

Se determinó con un panel de 10 consumidores que según su apreciación y siguiendo las normativas de degustación evaluaron la calidad del producto Tabla 15.

**Tabla 15.** Calidad sensorial del producto

<b>CALIDAD DEL PRODUCTO</b>	<b>MÉTODO</b>
Color	Prueba de Friedman para n muestras
Olor	Prueba de Friedman para n muestras
Sabor	Prueba de Friedman para n muestras
Textura	Prueba de Friedman para n muestras
Aceptabilidad	Prueba de Friedman para n muestras

Los datos registrados fueron identificados a través de las pruebas no paramétricas de FRIEDMAN, basada en la siguiente fórmula:

$$X^2 = \frac{12}{NK(K+1)} \sum(R_j) - 3N(K+1) \quad (7)$$

Donde:

N= Número de panelistas

K= Tratamientos

R<sub>j</sub>= Rango

Luego de realizar el análisis sensorial se efectuó la tabulación de los datos, que determinó los mejores tratamientos.

### 3.1.17. ELABORACIÓN DE GRITZ

A continuación, se describe (Figura 9) el procedimiento seguido para obtener griz de mashua.

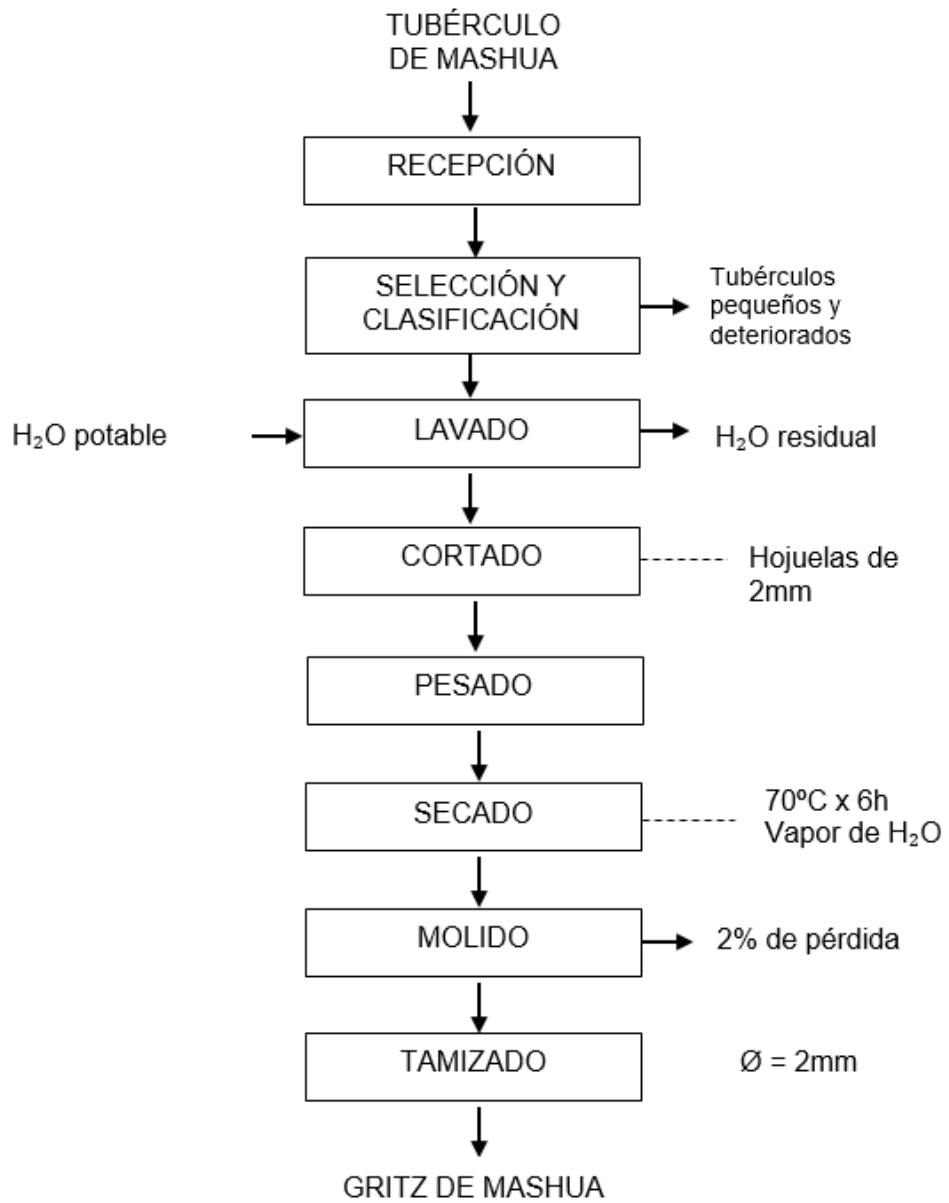


Figura 9. Diagrama de bloques de griz de mashua

### 3.1.18. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

- **Recepción.** – se recibió los tubérculos de mashua amarilla de excelente calidad y que cumplieron con los requerimientos necesarios para la investigación, por lo que se desechó aquellos tubérculos que presentaban defectos.
- **Selección y clasificación.** - el tubérculo fue clasificado de acuerdo a las siguientes características externas: limpio, sin daños mecánicos, fisiológicos, patógenos, ni causada por insectos, también se tomó en cuenta el estado de madurez óptimo (15 días después de la cosecha para ayudar a la concentración de nutrientes) (Figura 10). Los tubérculos pequeños y deteriorados se descartaron.



**Figura 10.** Tubérculos de mashua seleccionada

- **Lavado.** - Se lavó la materia prima con agua potable (Figura 11), con la finalidad de retirar todo tipo de contaminante externo, que puede causar algún tipo de contaminación.



**Figura 11.** Lavado de tubérculos de mashua

- **Cortado.** - se cortaron rodajas de 2mm de espesor a todos los tubérculos para facilitar el secado de las mismas, Figura 12.



**Figura 12.** Mashua troceada

- **Pesado.** - se pesó las rodajas de mashua, para determinar la cantidad de materia prima que ingresó al deshidratador.
- **Secado.** –se colocaron las rodajas de mashua en todas las bandejas del deshidratador sin encimar unas con otras Figura 13 y se utilizó un deshidratador de bandejas que trabajo a una temperatura de 70°C por 6 horas hasta lograr un secado homogéneo en todas las rodajas.



**Figura 13.** Secado de rodajas de mashua

- **Molienda.** – se trituro las rodajas secas en un molino de disco hasta tener partículas que se asemejen al gritz de maíz de 2mm de diámetro.
- **Tamizado.** - se tamizó el producto de la molienda, con un juego de tamices vibratorios marca Gilson Figura 14. Se pesó la materia prima que se obtuvo en el molido y después se colocó en el tamiz N° 12 para partículas de 2mm diámetro, mismas que son separadas mediante vibración.



**Figura 14.** Tamizado de gritz de mashua

### 3.1.19. ELABORACIÓN DE EXTRUIDO DE MASHUA-MAÍZ

A continuación, se detalla el proceso (Figura 15) para la obtención de un extruido a base de griz de maíz - mashua.

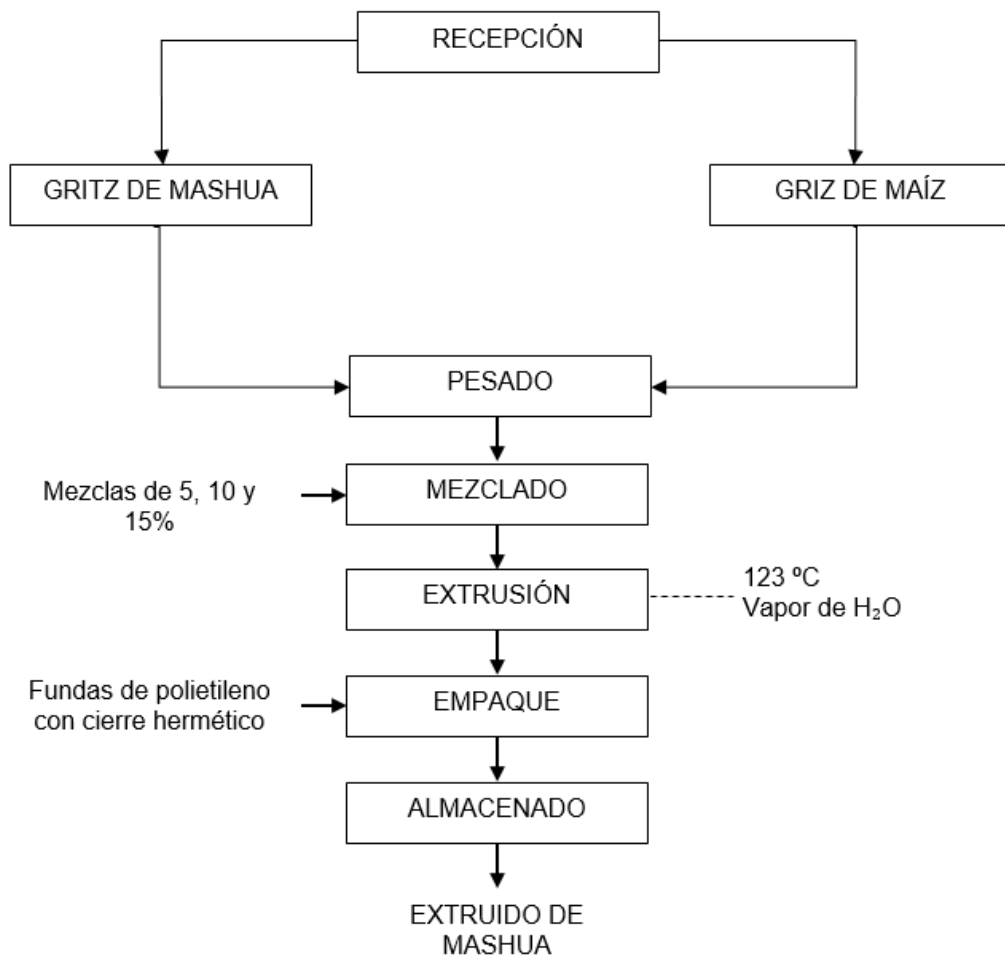


Figura 15. Diagrama De Bloques Extruido De Mashua



### 3.1.20. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

- **Recepción.** – se recibió las materias primas que se utilizó en el proceso de extrusión, griz de mashua - maíz con una humedad de 5,45 – 12,63 % de humedad respectivamente.
- **Pesado.** – Se pesó las cantidades requeridas para las tres mezclas de la investigación (Figura 16) matriz alimentaria de : (85/15), (90/10) y (95/5).



**Figura 16.** Pesado de griz de mashua y griz de maíz

- **Mezclado.** – homogenizar las muestras formadas por las dos materias primas.
- **Extrusión.** – se pesa los 6 tratamientos con sus respectivas repeticiones, se calibrar el equipo a 123°C velocidad de tornillo 128 rpm, diámetros del dado 3mm y 5mm; se alimenta al extrusor de manera uniforme; para no afectar el índice de expansión, luego la mezcla se extruye en un extrusor de laboratorio de un solo tornillo con capacidad de 1000g/h. Figura 17.



**Figura 17.** Extrusión la mezcla de griz de mashua-maiz

- **Empaque.** - el producto extruido se empacó en fundas de cierre hermético de polietileno (Figura 18), para el identificado de cada tratamiento y repetición, además, se verificó que no haya orificios en las fundas para que el extruido no absorba humedad del medio ambiente.

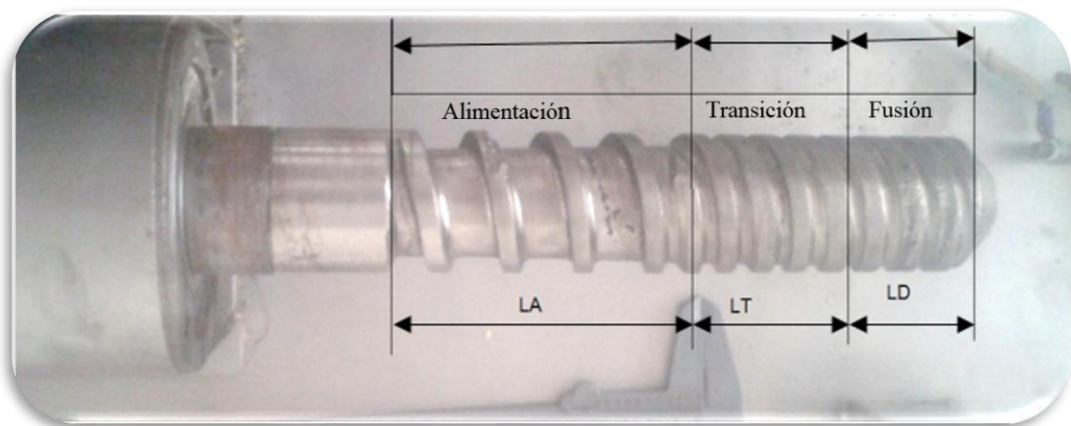


**Figura 18.** Extruido de mashua

- **Almacenado.** - se almacenó el producto a temperatura ambiente para realizar los análisis fisicoquímicos, en el Laboratorio de Nutrición Animal de la Facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad Central del Ecuador para su respectivo análisis proximal.

### 3.1.21. CARACTERIZACIÓN DEL TORNILLO

Para la elaboración del extruido de gritz de mashua – maíz fue necesario establecer una característica básica del tornillo del extrusor Figura 19.



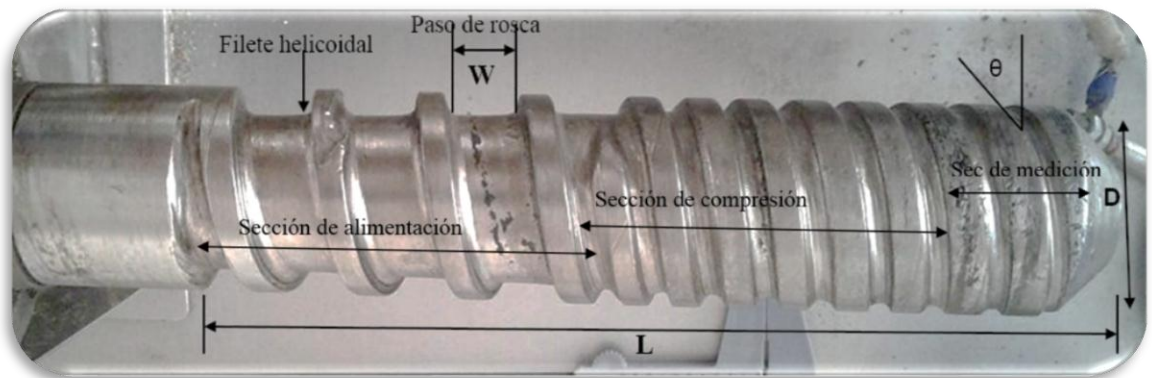
**Figura 19.** Zonas del tornillo de un extrusor

La zona de alimentación (LA) es la más cercana a la tolva, en esta zona la profundidad del canal del tornillo es superior a las demás, su objetivo principal es compactar de manera sólida a la materia prima para transportarla a la siguiente zona. Zona de transición o compresión (LT), en esta zona el aire retenido en el material va escapando a medida que la mezcla se compacta, además en esta zona tiene lugar la fusión del material, por otra parte, la profundidad del canal disminuye gradualmente (Beltrán & Marcilla, 2012).

Por último la zona de fusión (LD), esta es la zona más cercana a la boquilla, aquí la profundidad de canal es muy pequeña y constante, en esta zona el material fundido es homogenizado y presurizado para ser forzado a salir mediante altas presiones por una boquilla de diámetro conocido (Beltrán & Marcilla, 2012).

### Partes principales del tornillo

Dentro de las partes del extrusor, la más importante es la estructura del tornillo, el cual está compuesto por una serie de características únicas de cada zona que comprende un extrusor como se puede observar en la Figura 20.



**Figura 20.** Partes del tornillo

Se observa una versión simple del tornillo sinfín de una sola pieza del extrusor de un solo tornillo. La Figura 20, muestra tres secciones geométricas distintas con un canal que tiene profundidad y paso variables (Bouvier & Campanella, 2014).

La primera sección llamada sección de alimentación tiene alta capacidad de transporte de materia prima.

La siguiente sección es de compresión con un canal de profundidad decreciente, aquí el material se calienta por fricción y transferencia de calor conductora hasta que se produce la fusión.

La tercera sección llamada de fusión es donde el material está idealmente en un estado fundido, para posteriormente salir por un dado de determinado diámetro.

El extrusor se compone de varias partes las cuales cumplen con diferentes funciones, se detallan a continuación Tabla 16.

**Tabla 16.** Partes de un extrusor

<b>Partes</b>	<b>Unidad</b>	<b>Medidas</b>
<b><i>Db</i></b> : altura del cañón	cm	3,90
<b><i>H</i></b> : distancia	cm	0,30
<b><i>D</i></b> : diámetro de la raíz del tornillo	cm	3,80
<b><i>2d</i></b> : anchura del tornillo	cm	0,10
<b>Paso (<math>\beta</math>)</b> : distancia axial	cm	0,30
<b>(<math>\theta</math>)</b> : ángulo del filete	cm	1,40
<b>(<i>W</i>)</b> : ancho axial del canal	cm	1,40
<b>(<i>b</i>)</b> : ancho del filete del tornillo en la dirección axial	cm	1,30
<b>(<i>e</i>)</b> : ancho del filete del tornillo medido perpendicularmente a la cara del filete	cm	0,60
<b><i>L</i></b> : longitud del tornillo	cm	30
<b><i>Ingreso a la boquilla de salida:</i></b>	cm	1,20

## **CAPITULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIONES**

#### **4.1. VARIABLES EVALUADAS EN LAS MATERIAS PRIMAS**

Los resultados del análisis físico químico del gritz de mashua utilizado en la presente investigación, así como del producto terminado fueron realizados en el Laboratorio de Análisis Físicos, Químicos y microbiológicos de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Técnica del Norte. Mientras, el análisis de almidones fue realizado en el Laboratorio del Departamento de Nutrición y Calidad de la estación Experimental Santa Catalina del Instituto de investigaciones Agropecuarias - INIAP.

##### **4.1.1. CARACTERISTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE LA MATERIA PRIMA.**

Las materias primas (MP) utilizadas en el proceso de extrusión poseen altos contenidos de almidones, como son la mashua y maíz duro amarillo, cuya composición química se describe a continuación:

**Tabla 17.** Composición nutricional de las materias primas (base seca)

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Gritz de mashua</b>	<b>Gritz de maíz</b>
Humedad	%	5,45	12,63
Proteína	%	6,72	8,40
Fibra	%	3,23	0,84
Grasa	%	0,94	1,26
Carbohidratos	%	85,43	75,12
Ceniza	-	-	-

Laboratorio de Análisis Físicos, Químico y Microbiológicos (FICAYA – UTN)

A continuación, se detallan los resultados obtenidos de las características físicoquímicas de la mashua (Tabla 17), donde el contenido de humedad del griz de maíz es 12,63% inferior al contenido de humedad de la mashua de 5,45 %.

Asimismo, el contenido de proteína bruta del maíz es 8,40% es más alto con relación al de la mashua 6,72%. Sin embargo, Pinzón & Satama, (2015) mencionan que la mashua peruana posee entre 8% y 12% de proteína en base seca, la cual es superior a la mashua utilizada en esta investigación. El contenido de proteína de la mashua es superior a otros tubérculos andinos como son: camote 4%, arracacha 3%, papa 8% y olluco 7%. Asimismo, la calidad de la proteína de mashua es buena, ya que posee los aminoácidos en cantidades importantes (Toledo & Escobar, 2004).

La cantidad de fibra que posee la mashua es de 3,23%, según Barrera et al., (2004) menciona que el contenido de fibra es similar a otras raíces y tubérculos andinos como la jícama 3%, la oca 1% y el miso con 4,8% superior al 0,84% de la fibra de maíz en base seca.

En contenido de lípidos del maíz es 1,26%, el cual está formada de ácido linoleico, oleico, palmítico y esteárico en diferentes cantidades (Botanical on Line , 2019), a diferencia de la mashua que tiene 0,94% de lípidos, ya que en su mayoría es un tubérculo formado por agua.

Además, las raíces y tubérculos andinos son fuente de carbohidratos en base fresca entre el 13.20% en la oca y 14% el melloco. Mientras, la mashua registra el 85,43% y la jícama 85% en base seca de carbohidratos, concuerdan con los reportes de Espín et al., (2003), debido a que es un tubérculo con elevado contenido de almidón. Por otra parte, el maíz dispone un 75% en contenido de carbohidratos inferior al de la mashua, cabe resaltar que el almidón del maíz es de mejor calidad, por el mayor contenido de amilopectina (72%) con relación a la amilosa (28%).

En la tabla 18 se detalla la composición de las mezclas utilizadas en el proceso de extrusión.

**Tabla 18.** Composición nutricional de las mezclas.

<b>Parámetros</b>		<b>Matriz 1</b>	<b>Matriz 2</b>	<b>Matriz 3</b>
		5% Mashua – 95% Maíz	10% Mashua – 90% Maíz	15% Mashua- 85% Maiz
Humedad	%	10,80	10,50	10,00
Fibra	%	0,20	0,21	0,23
Proteína	%	8,83	8,87	8,92
Extracto etéreo	%	0,73	0,70	0,65
Carbohidratos	%	79,3	78,7	78,5

Laboratorio de nutrición animal Universidad Central del Ecuador.

Guy et al., (2001) clasifica por grupos a las materias primas destinadas a la extrusión en caliente, donde el almidón influye en la estructura de producto extruido y la proteína actúa como fase dispersa.

Las características químicas de la mezcla utilizada para alimentar el extrusor son: la humedad, lípidos, proteína, fibra y carbohidratos, afectando las propiedades de textura y color del alimento extruido (Ruiz et al., 2017).

En la Tabla 18 se observa un incremento mínimo del contenido de proteína (8,83% - 8,92%) debido al reajuste al mezclar las materias primas, ya que poseen cantidades similares de proteína.

Por otra parte, la extrusión es un proceso que mejora la digestibilidad de las proteínas debido a la desnaturalización, favoreciendo su absorción en el intestino. Además, al mezclar los gritz de mashua y maíz se obtiene proteína de mejor calidad biológica debido a que mejora el perfil de aminoácidos.

Sin embargo, las proteínas poseen un efecto negativo sobre la expansión radial, por su capacidad de afectar la distribución del agua puesto que las proteínas compiten por el agua presente en la matriz a través de su estructura y conformación macromolecular, y esto a su vez afecta a las propiedades de la masa en estado fluido dentro del extrusor (Phillips & Williams, 2012).

La diferencia de proteína presente en las mezclas en comparación con las materias primas (tabla 17) puede deberse a que no se contó con la misma materia prima de

mashua a pesar de ser de los mismos productores, la diferencias en sus prácticas de cultivo, así como su estado de madurez y características del suelo pueden ser la causa de esta diferencia e incremento en el contenido de proteína.

El contenido de fibra (0,20% - 0,23%) muestra una disminución considerable, esto podría deberse a que el maíz no posee altos contenidos de fibra y el valor obtenido en las mezclas reflejaría el complemento del contenido de fibra de maíz y el contenido de fibra de mashua que es un tubérculo altamente fibroso además, esta reducción puede deberse a la concentración de la mezcla y al nivel de sustitución.(Llopart, 2011).

En la Tabla 18 se muestra el contenido de lípidos el cual tiene una disminución (0,65% - 0,73%) en comparación con los contenidos de las materias primas esto podría deberse a que la mashua es un tubérculo mismo que en su composición es formado por agua, por otro lado, los lípidos actúan como lubricante, reduciendo la conversión mecánica de energía en el extrusor, así como la expansión. Por lo tanto, es importante controlar el nivel de lípidos, en algunos casos, una pequeña variación de lípidos puede afectar drásticamente el producto. Los lípidos también puede debilitar la estructura celular, causando fusión y porosidad (Tovar et al., 2017).

La norma ecuatoriana de “Mezclas Alimenticias” NTE INEN 3084, (2014) menciona que una mezcla es el producto que se obtiene por la combinación de dos o más materias primas secas y que para un proceso posterior deben cumplir con un contenido máximo de humedad del 14,5%, por lo tanto, los resultados obtenidos en el análisis se encuentran dentro del rango establecido por la norma vigente.

En la Tabla 19 se detalla la composición de almidones para los gritz de mashua – gritz de maíz, utilizados en el proceso de extrusión.

**Tabla 19.** Composición en almidón de las materias primas

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Gritz de mashua</b>	<b>Gritz de maíz</b>
Almidón	%	48,85	60,01
Amilosa	%	12,94	16,80
Amilopectina	%	35,91	43,21

Laboratorio de análisis de alimentos del INIAP estación Santa Catalina.



Según Valcárcel, Rondán, & Finardi, (2013), el almidón presente en la mashua tiene gránulos ovalados y esféricos con tamaños entre 4,39 y 16,29  $\mu\text{m}$  de longitud y 4,07 y 13,09  $\mu\text{m}$  de diámetro. Además, presentan tamaños menores en comparación con los de la oca y olluco. De igual manera, el almidón de mashua presenta similitud con el de almidón de yuca (Valcárcel et al., 2013). Por el contrario, el almidón de maíz tiene formas esféricas y poligonales con diámetros de 5 a 20  $\mu\text{m}$ .

Además, se observa que el almidón de mashua presenta 12,94% de amilosa y 35,91% de amilopectina, donde la amilosa es responsable del atributo de dureza en el producto extruido. Mientras, la amilopectina influye en el índice de expansión radial. Sin embargo, la amilosa y la amilopectina de la mashua en presencia de agua presentan mayor resistencia a la ruptura e hinchazón durante la gelatinización con relación al almidón de maíz (Semeijn & Buwalda, 2011).

Adicionalmente, el almidón de tubérculos necesita altas temperaturas de gelatinización ya que pertenece al grupo C de los almidones porque tiene una cristalinidad mixta y al ser de doble hélice le permite tener una estabilidad térmica mucho mayor que el maíz. Sin embargo, en un estudio realizado por Semeijn & Buwalda, (2011) indican que el almidón de papa tiene una cadena larga de amilopectina, pero presenta temperaturas de gelatinización bajas por la presencia de derivados de fosfato, lo cual desestabiliza la estructura cristalina del almidón.

El contenido de amilosa hace que la dirección de la expansión sea axial, debido a que la amilosa difícilmente gelatiniza y solo actúa como diluyente por a su alta capacidad de formar puentes de hidrógeno con el agua. Además, la amilosa tiene tendencia a recristalizar (retrogradación). Mientras, la amilopectina necesita temperaturas bajas para gelatinizar, ya que el hinchamiento de los gránulos de almidón es una propiedad exclusiva de la amilopectina (Moscicki & Zuilichem, 2011). Por lo tanto, la temperatura de gelatinización aumenta a medida que aumenta la longitud de ramificación de la amilopectina, formando cristalitas de doble hélice de almidón (Moscicki & Zuilichem, 2011).

#### **4.1.2. VARIABLES FÍSICO QUÍMICAS EVALUADAS EN EL PRODUCTO TERMINADO**

Para evaluar los parámetros de extrusión en el producto expandido se realizaron análisis de varianza (Tabla 20) de las propiedades físico químicas, como son humedad, fibra, proteína, grasa y carbohidratos. Donde el análisis estadístico establece diferencias altamente significativas ( $p < 0.01$ ) en los contenidos de proteína para tratamientos y para factor **A** (mezcla de materias primas). Mientras que el factor **B** y su interacción **AB** no fueron significativas.

Para el contenido de fibra se registra una significancia ( $p < 0.05$ ) del factor **A** (mezcla de materias primas), factor **B** (diámetro de la boquilla a la salida del extrusor) y en tratamientos. Su interacción fue no significativa.

Por otra parte, los contenidos de humedad y carbohidratos no presentaron diferencias estadísticas, debido a que la humedad tuvo un comportamiento constante en las tres mezclas y el contenido similar de carbohidratos en las materias primas.

Para lípidos se encontró una alta significación estadística ( $p < 0.01$ ) en tratamientos y factor **A**, para el factor **B** y la interacción **AB** no se encontró diferencia significativa.

La prueba de Tukey a los tratamientos, presentaron diferencias altamente significativas ( $p < 0.01$ ) en los contenidos de proteína, fibra y lípidos. Mientras, la humedad y carbohidratos no presentaron significancia estadística (Tabla 20).

**Tabla 20.** Análisis de varianza de las variables físico químicas en el snack.

Fuentes de Variación	Gl	Humedad F-valor	Proteína F-valor	Fibra F-valor	Carbohidratos F-valor	Lípidos F-valor
<b>Total</b>	17					
<b>Trat</b>	5	1,02 <sup>NS</sup>	6,55 <sup>**</sup>	4,25 *	0,25 <sup>NS</sup>	15,50 <sup>**</sup>
<b>A</b>	2	0,43 <sup>NS</sup>	15,65 <sup>**</sup>	4,85 *	0,50 <sup>NS</sup>	33,93 <sup>**</sup>
<b>B</b>	1	0,04 <sup>NS</sup>	1,29 <sup>NS</sup>	4,92 *	0,00 <sup>NS</sup>	3,5 <sup>NS</sup>
<b>AxB</b>	2	2,11 <sup>NS</sup>	0,07 <sup>NS</sup>	3,31 <sup>NS</sup>	0,01 <sup>NS</sup>	3,07 <sup>NS</sup>
<b>E. Exp</b>	12					
<b>CV %</b>		4,79%	0,28%	7,08%	0,15%	3,30%

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

#### 4.1.3. HUMEDAD

Al realizar el análisis de varianza (Tabla 20) para contenido de humedad de los extruidos, se observa que los valores del valor F calculado son menores con relación al valor F tabular. Por lo tanto, no existe significación estadística tanto en tratamientos como factores, debido a que los tratamientos tienen un comportamiento similar en esta variable, debido a que las mezclas ingresaron al extrusor con igual contenido de humedad, temperatura y velocidad del tornillo.

Kokini & Cisneros, (2002) mencionan que la humedad se considera un factor importante en el desarrollo de los extruidos, porque favorece la hinchazón de los gránulos de almidón, provocando el cambio de la estructura cristalina a estructura amorfa. Sin embargo, Semeijn & Buwalda, (2011) indican que el almidón de mashua presenta resistencia a la ruptura por sus características de cristalinidad mixta y estabilidad térmica. Por otro lado, Encina et al., (2012) menciona que a contenidos de humedad baja (12%) similar a la humedad utilizada en la investigación (10%), se obtienen mejores resultados en la gelatinización del almidón.

Además, Košutić, Filipović, Pezo, Plavšić, & Ivkov, (2016) afirman que niveles adecuados de humedad favorecen la cizalla y el buen funcionamiento del equipo, debido a que el agua presente es absorbida por los almidones incrementando su

índice de expansión, lo que se comprueba con los resultados que se obtuvieron en esta investigación.

En efecto, la reducción de humedad en el producto extruido se debe al incremento de la presión a la salida de la boquilla la cual favorece una evaporación rápida del agua contenida en la mezcla por la energía mecánica desarrollada dentro del barril y por la absorción del vapor de agua por los almidones debido a la reducción de sus partículas en la sección de molienda en el extrusor.

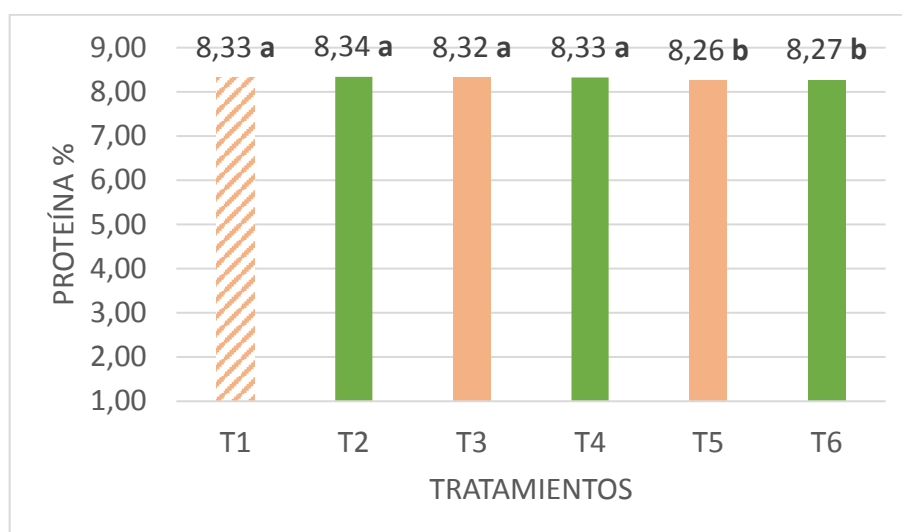
#### **4.1.4. PROTEÍNA**

Los valores de contenido de proteína presentaron significación estadística ( $p < 0.01$ ) para tratamientos y factor **A** (mezcla de materias primas) donde el nivel **a1** y **a2** presentaron el rango (**a**), mientras el nivel **a3** tuvo rango (**b**) (anexo 1). Mientras que el factor **B** (diámetro de la boquilla) y la interacción **AB** no presentaron diferencias estadísticas. Por lo tanto, los tratamientos tuvieron un comportamiento diferente durante el proceso de extrusión. Se obtuvo un coeficiente de variación de 0,28%.

La prueba de Tukey al 5% (Tabla 21), indica que el **T1** matriz alimentaria (85/15) con dado 3 mm tuvo el valor más alto para el contenido de proteína, siendo nutricionalmente el mejor tratamiento. También, se observó que los tratamientos **T2**, **T3** y **T4** se consideran mejores tratamientos debido a la mayor concentración de proteína en la matriz alimentaria de dichos tratamientos, por lo tanto, se registran con el rango (**a**) como los tratamientos que más proteína digerible aporta al ser humano.

Por lo tanto, estadísticamente indica que los cuatro tratamientos son aptos obtener extruidos de buena calidad durante el proceso de extrusión.

A continuación, se representa gráficamente los rangos obtenidos en la prueba de Tukey.



**Figura 21.** Proteína del producto extruido

En la Figura 21, el mejor tratamiento es el **T1** matriz alimentaria (85/15) con dado 3 mm, donde la proteína que posee después de la extrusión es de 8,34%, en comparación con la mezcla inicial (Tabla 18), cuyos valores van de 8,83% a 8,92%. Los resultados evidencian una reducción del contenido de proteína debido a la cizalladura a la que se somete en el barril del extrusor.

Además, el contenido de proteína presente en los tratamientos, cumple con lo establecido en la norma técnica colombiana para extruidos expandidos a base de cereales NTC 3652 (2006), la cual indica que un alimento extruido debe tener mínimo 3% de contenido de proteína para beneficiar al ser humano. Sin embargo, en esta investigación se tuvo el 8%, debido a que la mashua aporta cantidades considerables de proteína al producto extruido, la cual, al mezclarse con el maíz mejora su calidad biológica (Toledo & Escobar, 2004) (Espín et al., 2003).

Por otra parte, el contenido de proteína es afectado durante el proceso de extrusión por la sustitución en la mezcla de maíz por mashua; debido que a medida que aumento la sustitución de mashua con el 5%, 10% y 15% el porcentaje de proteína en el extruido aumentó como lo demuestra la Figura 21, donde los valores de proteína oscilan desde 8,34% en **T1** a 8,26% en **T5**. Asimismo, los tratamientos **T1** y **T2** matriz alimentaria (85/15) con dado 5 mm y 3mm respectivamente y el tratamiento **T3** y **T4** matriz alimentaria (90/10) con dado 3 mm y 5 mm

respectivamente son los que tienen mayor contenido de proteína convirtiéndose nutricionalmente en los mejores tratamientos.

Sin embargo, Pérez et al., (2007) y Phillips & Williams, (2012) mencionan que no es recomendable que la mezcla a extruirse tenga elevados contenidos de proteína puesto que la proteína presenta cambios estructurales a temperaturas mayores a 60°C creando elasticidad y reduciendo el índice de expansión. Sin embargo, en esta investigación se trabajó a temperaturas de 123°C debido al diseño y longitud del tornillo (Figura 16) que no permitió que la mezcla se someta a largos periodo de residencia dentro del barril, por esta particularidad no se presentaron mayores pérdidas de proteína.

Asimismo, Adekola, (2015) menciona que los ingredientes menores perjudican la extrusión y las características físicas, sensoriales y funcionales del extruido. por otra parte, Altan, (2012), menciona que la alta concentración de proteínas limita la formación de una estructura porosa altamente expandida, aumentando la densidad aparente del extruido.

Lo explicado anteriormente, justifica los bajos niveles de expansión y alta densidad aparente que se tuvieron en los tratamientos T1 y T2, en los cuales la proteína de la matriz alimentaria es mayor en comparación con los otros tratamientos, por consiguiente, no permitieron la ruptura completa de las paredes de las burbujas que se formaron por la presencia del almidón, debido a que la proteína forma complejos y, además, compite con el almidón por la absorción del agua presente en la matriz.

Asimismo, Myat & Ryu, (2014) menciona que el aumento de la digestibilidad de la proteína podría ser el resultado de la desnaturalización de las proteínas durante la extrusión a altas temperaturas, resultando en una mayor susceptibilidad a la actividad enzimática. Por lo tanto, la extrusión mejora la digestibilidad y permite un mejor aprovechamiento nutricional de las proteínas vegetales.

#### **4.1.5. FIBRA BRUTA**

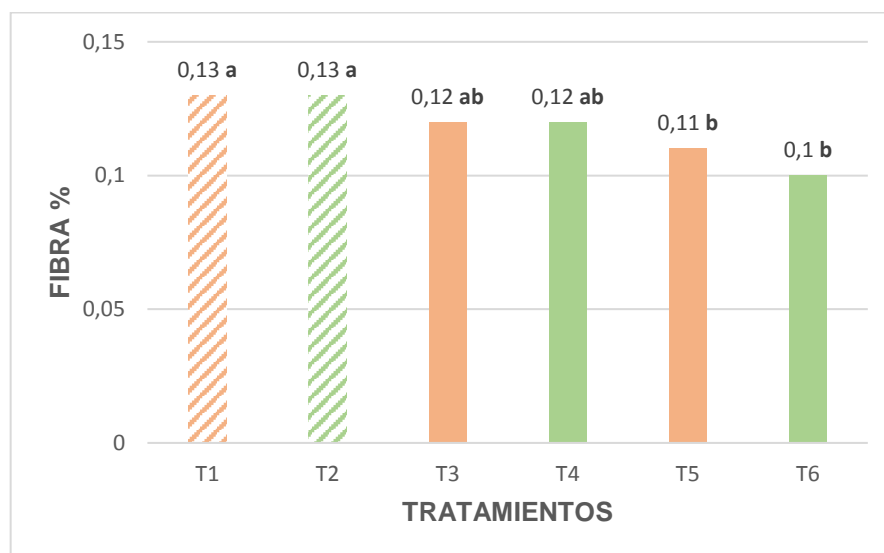
El análisis de varianza (Tabla 20) para el contenido de fibra, muestra una significancia ( $p < 0.05$ ) en tratamientos, en factor **A** (mezcla de materias primas), y en factor **B** (diámetro del dado). Al tener una diferencia significativa, se concluye

que la matriz alimentaria y el diámetro de salida de la boquilla afectan en el contenido de fibra. Se obtuvo un coeficiente de variación de 7,08%.

La prueba de Tukey al 5% (Tabla 21), formó tres rangos, además, determinó que los tratamientos **T1 y T2** matriz alimentaria (85/15) con dado de 3mm y 5mm respectivamente, registraron el valor más alto de fibra 0,13% en comparación con los otros tratamientos, por lo cual les corresponde el rango **a**, debido a su alto contenido de fibra, siendo nutricionalmente los mejores tratamientos. Asimismo, estadísticamente se observa que los tratamientos **T1, T2, T3 y T4** se comportaron de la misma manera por lo tanto nutricionalmente estos tratamientos son aptos para tener productos extruidos con buenas calidades nutricionales.

Sin embargo, los tratamientos **T5 y T6** son los más adecuados para el proceso de extrusión, ya que a concentraciones altas de fibra afectan el funcionamiento del extrusor debido que a temperaturas elevadas la fibra sufre una caramelización lo que lleva a una fundición y pegado de la mezcla en las paredes del extrusor impidiendo su adecuado funcionamiento (J. Ahmed et al., 2017).

En la Figura 22 se presenta los contenidos de fibra del producto obtenido mediante extrusión.



**Figura 22.** Fibra del producto extruido

Según Altan, (2012), el contenido de fibra en el producto extruido se ve afectado por el índice de absorción de agua, debido a que la fibra insoluble desciende según

el contenido de humedad. Los resultados de esta investigación se asemejan a lo expuesto anteriormente debido que el contenido de fibra sufre una disminución del porcentaje en el extruido (0,10%) con relación a la matriz alimentaria (0,23%) esta reducción podría deberse a la mayor solubilización de los componentes de la fibra por la cizalladura ejercida en el barril, así como a la degradación de sus polímeros.

Asimismo, Ding et al., (2006) manifiesta que las moléculas más grandes de fibra pueden cizallarse durante la extrusión debido a que es un tratamiento altamente invasivo, cuyo resultado es la solubilización de la fibra por la destrucción de sus paredes. Por lo tanto, la ruptura de enlaces covalentes y no-covalentes entre los carbohidratos y las proteínas asociadas a la fibra, resultan en fragmentos moleculares más pequeños y más solubles.

Llopart, (2011) menciona que las mezclas con escasos contenidos de almidón y elevada fibra dan productos extruidos con alta densidad. Asimismo, la fibra, influye en el producto expandido produciendo una estructura con burbujas más pequeñas, razón por cual la fibra en el proceso de extrusión debe ser limitado y no mayor al 5%, debido al resultado obtenido en el índice de expansión (Bouvier & Campanella, 2014). Por lo tanto, se concluye que los valores obtenidos cumplen con esta condición pues en todos los tratamientos los valores son inferiores a 1%.

Vílchez, Guevara, & Encina, (2012) dicen que un aumento en el contenido de fibra produce extruidos más densos, orificios más pequeños, color más oscuro además de dar sabor amargo por los daños ocasionados en la fibra tal como se evidencia en los tratamientos **T1** y **T2** los cuales presentaron mayor densidad aparente y calor más oscuros así como menor índice de expansión. Además, Piwińska, Wyrwisz, Kurek, & Wierzbicka, (2016) recomienda controlar el contenido de fibra de la matriz alimentaria debido que altos contenidos de fibra afectan negativamente a las propiedades físicas y sensoriales de los productos extruidos.

#### **4.1.6. CARBOHIDRATOS**

El análisis de varianza (Tabla 20) del contenido de carbohidratos, indica que no existe diferencia mínima significativa entre los tratamientos, el factor **A** (mezcla de materias primas) y factor **B** (diámetro del dado), al no encontrarse significación



estadística en carbohidratos, se demuestra que el porcentaje de la matriz alimentaria y el diámetro de la boquilla del extrusor no afecta significativamente el contenido de carbohidratos. Se obtuvo un coeficiente de variación de 0,15%.

Por lo tanto, al no existir diferencia significativa entre los tratamientos (Tabla 21), todos tienen el mismo rango **a**, es decir, su comportamiento es similar en toda la investigación. Sin embargo, al no existir diferencia estadística se identifica matemáticamente el mejor tratamiento, siendo el **T6** matriz alimentaria (95/5) con dado de 5mm, donde se obtuvo un valor de 89,00%, el cual fue el menor contenido de carbohidratos en el producto extruido.

Por otra parte, el **T1** presentó mayor contenido de carbohidratos con un valor de 89,10%, esto puede estar relacionado a que la composición del tratamiento T1 es matriz alimentaria (85/5), lo cual aumenta la proteína, fibra y cenizas de la mashua aumentando el valor de carbohidratos y disminuyendo la expansión del producto ya que el almidón de tubérculos presenta mayor resistencia a la ruptura.

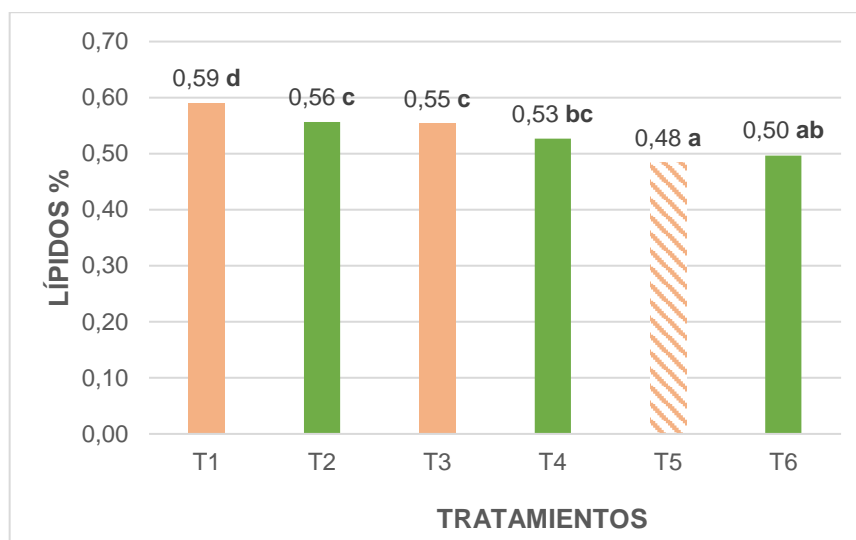
#### **4.1.7. LÍPIDOS**

En cuanto al contenido de lípidos se observa en la Figura 25 que el **T5** y el **T6** es el que menor contenido de grasa presenta con un valor de 0,48% y 0,50% respectivamente.

Una vez realizado el análisis de varianza del contenido de lípidos (Tabla 20), se muestra una significación estadística ( $p < 0.01$ ) para tratamientos y factor **A** (mezcla de materias primas), en cuanto al factor **B** no tuvo significación estadística (Tabla 20). Esto indica que el diámetro de la boquilla no influye significativamente en la cantidad de grasa contenida en el producto extruido. Se obtuvo un coeficiente de variación de 3,30%.

Al existir diferencias estadísticas en tratamientos se realizó la prueba de Tukey al 5% Tabla 21, donde se determinó que existen cuatro rangos siendo los tratamientos **T5** (95/5) y el **T6** (95/5) a los que les corresponden el rango (**a**), por registrar contenidos bajos de grasa en comparación con los otros tratamientos.

En la Figura 23 se puede observar que el contenido de grasas de todos los tratamientos expresado en porcentaje va desde 0,48% a 0,59%.



**Figura 23.** Grasa del producto extruido

La Figura 23, indica que los tratamientos **T5** y **T6**, obtuvieron los valores de 0,48% y 0,50% respectivamente, los cuales son los valores más bajos de contenido de lípidos que presentó en el producto extruido. Por lo tanto, los tratamientos **T5** (95/5) y **T6** (95/5) con diámetro de dado de 3mm y 5mm son los mejores tratamientos debido que en el proceso de extrusión se requiere que el contenido de lípidos sea mínimo ya que influye negativamente sobre el índice de expansión.

Tovar *et al.*, (2017) menciona que el contenido de lípidos disminuye debido a su degradación, lo cual se confirma con los resultados obtenidos en esta investigación, cuyos valores van desde 0,48% a 0,59% de lípidos en el producto extruido, en el que se evidencia una disminución en comparación con las de las matrices alimentarias, cuyos valores van de 0,65% a 0,73% (Tabla 19). De igual manera, Kokini & Cisneros, (2012) sugieren que la disminución de los lípidos en el extruido podría ser el resultado de oxidación, hidrogenación, isomerización o polimerización de los lípidos.

Según, Lezcano & Cuggino, (2002) los lípidos libres actúan como lubricantes durante la extrusión. Asimismo, Kokini & Cisneros, (2012) y Salinas, Pérez, Castillo, & Álvarez, (2003) sugieren que contenidos de lípidos menores al 5%

actúan como lubricantes y favorecen la expansión y conversión de energía mecánica del extrusor. Sin embargo, Seth et al., (2015) mencionan que una pequeña variación de este contenido puede afectar drásticamente el producto, debido a que los lípidos también debilitan la estructura celular del extruido, causando fusión y porosidad además de aumentar la densidad del mismo (Lezcano & Cuggino, 2002).

Por lo tanto, según Guy et al., (2001) cantidades bajas de lípidos entre el 1% y 2% lubrican las partículas de la masa, de las paredes del barril y el tornillo, por lo tanto, facilita la extrusión de la masa fundida y mejoran la textura del producto extruido.

A continuación, se presenta un resumen de los análisis físico químicos que se realizaron en los productos expandidos y sus respectivos rangos.

**Tabla 21.** Resumen de análisis físico químicos del producto extruido

TRAT	Humedad	Proteína	Fibra	Carbohidratos	Lípidos
T1	5,76±0,41 <sup>a</sup>	8,34±0,04 <sup>a</sup>	0,13±0,01 <sup>a</sup>	89,10±0,30 <sup>a</sup>	0,59± 0,03 <sup>d</sup>
T2	5,72±0,25 <sup>a</sup>	8,33±0,03 <sup>a</sup>	0,13±0,01 <sup>a</sup>	89,07±0,07 <sup>a</sup>	0,56± 0,01 <sup>c</sup>
T3	5,49±0,35 <sup>a</sup>	8,33±0,03 <sup>a</sup>	0,12±0,01 <sup>ab</sup>	89,07±0,05 <sup>a</sup>	0,55± 0,02 <sup>c</sup>
T4	5,47±0,07 <sup>a</sup>	8,32±0,01 <sup>a</sup>	0,12±0,01 <sup>ab</sup>	89,03±0,30 <sup>a</sup>	0,53± 0,02 <sup>bc</sup>
T5	5,39±0,07 <sup>a</sup>	8,26±0,01 <sup>b</sup>	0,11±0,01 <sup>b</sup>	89,02±0,09 <sup>a</sup>	0,48± 0,02 <sup>a</sup>
T6	5,45±0,26 <sup>a</sup>	8,27± 0,1 <sup>b</sup>	0,10±0,00 <sup>b</sup>	89,00±0,05 <sup>a</sup>	0,50± 0,01 <sup>ab</sup>

Xm/DS; Promedios con letras diferentes presentan diferencias estadísticas, de acuerdo a la prueba de Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ )

## 4.2. DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES DEL PRODUCTO EXTRUIDO.

Para evaluar las pruebas funcionales en el producto expandido se realizaron análisis de varianza (Tabla 22) de las propiedades evaluadas en el producto extruido: índice de expansión (IE), densidad aparente (DA), índice de solubilidad de agua (ISA), índice de absorción de agua (IAA).

**Tabla 22.** Análisis de varianza de las variables funcionales en el snack.

Fuentes de Variación	gl	Índice de expansión	Densidad Aparente	Índice de solubilidad de agua	Índice de absorción de agua
		F-valor	F-valor	F-valor	F-valor
<b>Total</b>	17				
<b>Trat</b>	5	119,35 **	99,6 **	3,37 *	3,56 *
<b>A</b>	2	15,51 **	238,88 **	3,87 <sup>ns</sup>	7,27 **
<b>B</b>	1	556,34 **	13,5 **	8,86 *	0,24 <sup>ns</sup>
<b>AxB</b>	2	4,69 *	3,37 *	0,12 <sup>ns</sup>	1,5 <sup>ns</sup>
<b>E. Exp</b>	12				
<b>CV %</b>		4,45%	7,64%	5,89%	7,45%

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

Los valores reportados para el índice de expansión y la densidad aparente en la Tabla 22, indican diferencias altamente significativas ( $p < 0.01$ ) en tratamientos, factor **A** (mezcla de materia primas) y factor **B** (diámetro de la boquilla de salida) para índice de expansión. Mientras que para la interacción **AB** se encuentre una significación estadística ( $p < 0.05$ ),

El índice de absorción de agua presenta una alta significación estadística ( $p < 0.01$ ) únicamente en el factor **A** (mezcla de materia primas). Mientras, para tratamientos se observa una significación estadística ( $p < 0.05$ ). Factor **B** e interacción **AB** no presentaron significación.

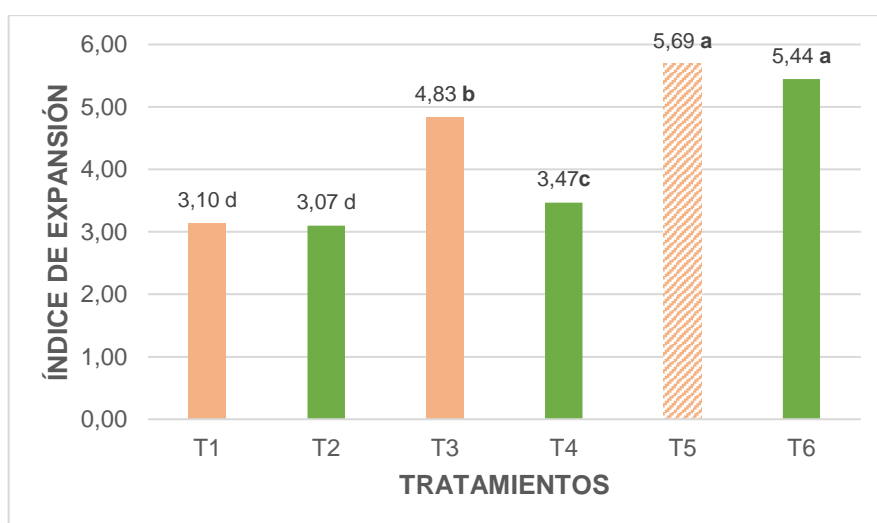
En cuanto al índice de solubilidad se establece una significancia estadística ( $p < 0.05$ ) para tratamientos y factor **B** (diámetro de la boquilla de salida). Por otra parte, el factor **A** y la interacción **AB** no presentaron significación estadística.

#### 4.2.1. ÍNDICE DE EXPANSIÓN (IE)

El análisis de varianza (Tabla 22) efectuado para el índice de expansión, presenta una diferencia altamente significativa ( $p < 0.01$ ) para tratamientos, factor **A** (mezcla de materias primas) y factor **B** (diámetro de salida de la boquilla), en cuanto la interacción de **AB** presenta una significancia estadística ( $p < 0.05$ ); es decir que el índice de expansión depende de las características y cantidad de almidón en las materias primas. Asimismo, se obtuvo un coeficiente de variación de 4,45%.

Por lo tanto, se procedió a realizar el análisis estadístico de Tukey al 5%. Formándose tres rangos, donde el tratamiento **T5** (95/5) y dado de 3mm, obtuvo los valores más altos para el índice de expansión con una media de 5,69 ocupando el rango **a**, el mismo que es compartido con el segundo valor más alto que tiene el **T6**, debido a la rigurosidad de la prueba. Los valores obtenidos pueden deberse a que la matriz alimentaria tiene menor contenido de griz de mashua, por lo tanto, en la extrusión actuó en mayor proporción la amilopectina presente en el maíz que es la encargada de los altos índices de expansión.

Por otra parte, Seth, Badwaik, & Ganapathy, (2015) indican que a mayor contenido de fibra y proteína disminuye la expansión, debido a que estos compuestos forman interacciones complejas que limitan la expansión.



**Figura24.** Índice de expansión del extruido

Valenzuela et al., (2017), tuvo valores de 0,77 y 2,87 para el índice de expansión, seguramente por el mayor contenido de almidón de papa, misma que limita el índice de expansión, por la presencia de fosfatos. Sin embargo, en esta investigación se obtuvo valores de 3,10 a 5,69 por la alta concentración de almidón de maíz en las diferentes matrices alimentarias, como se observa en la Figura 24.

Asimismo, al diámetro de la boquilla de salida contribuye a tener valores más altos para el IE los cuales se obtuvieron en los tratamientos **T1**, **T3** y **T5**; donde el diámetro de la boquilla es de 3mm lo que resulta favorecedor pues la diferencia de la presión dentro del barril con la presión atmosférica hacen que el agua contenida

en la mezcla pasa a estado de vapor de manera explosiva a la salida del extrusor provocando la expansión instantánea de la masa, obteniendo extruidos con altos índices de expansión (Llopart, 2011).

Chakraborty et al.,(2009) afirma que la extrusión con porcentajes elevados de almidón y diámetro menor en los orificios de los dados tienen alto grado de expansión. Por lo tanto, este efecto concuerda con los resultados obtenidos pues **T5** posee mayor almidón de maíz (95% maíz) y menor diámetro de orificios (3mm) favoreciendo al incremento de la presión ejercida en la boquilla del extrusor debido a que a la salida de la boquilla se tiene presión atmosférica. No obstante, el incremento del contenido de proteína en la mezcla reduce las posibilidades de una extrusión con expansión (Gulati et al., 2016).

Semeijn & Buwalda (2011) menciona que la temperatura de expansión depende de la longitud de las cadenas de amilosa y amilopectina para llegar a gelatinizar. Por lo tanto, en la extrusión de mashua se tienen temperaturas altas de extrusión 123°C, debido a que el almidón pertenece al grupo de cristalinidad mixta que le hace presentar resistencia a la ruptura aumentando su temperatura de gelatinización.

Por otra parte, la extrusión con porcentajes elevados de almidón y diámetro menor en los orificios de los dados tienen alto grado de expansión, lo cual concuerda con los resultados obtenidos pues **T5** posee mayor almidón de maíz (95% maíz) y menor diámetro de orificios (3mm) lo cual favorece al incremento de la presión ejercida en la boquilla del extrusor, debido a que a la salida de la boquilla se tiene presión atmosférica (Gulati et al., 2016). No obstante, el incremento del contenido de proteína en la mezcla reduce las posibilidades de una extrusión con expansión (Gulati et al., 2016).

Por otro lado, la cantidad de amilosa afecta el índice de expansión pues este almidón se expande longitudinalmente mientras que la dirección de expansión de la amilopectina es radial. (Yang et al., 2016). Además, según Encina et al., (2012) la presencia de amilosa influye en la textura del producto extruido pues esta no gelatiniza muy fácilmente y actúa solo como diluyente además de contribuir a la retrodegradación de los extruidos confiriéndoles mayores valores de dureza.

#### 4.2.2. DENSIDAD APARENTE (DA)

Después de realizar el análisis de varianza para la densidad aparente (Tabla 22), se observa que existe significancia estadística para tratamientos, así como para el factor **A** y factor **B** y para la interacción **AB**, lo que quiere decir que todos los tratamientos tienen un comportamiento diferente en esta variable y se obtuvo un coeficiente de variación de 7,64%

Al realizar la prueba de Tukey al 5% (Tabla 23) en los tratamientos, se observó que se formaron cinco rangos teniendo en cuenta que los mejores tratamientos fueron **T5** (95/5) y dado de 3mm, con un valor medio de 0,07 y **T6** ya que poseen el mismo rango estadístico como se muestra en la Tabla 23. Investigaciones realizadas revelaron que la densidad aparente es inversamente proporcional al índice de expansión y esto se puede evidenciar en la Figura 23 donde los valores muestran una diferencia en el comportamiento entre las variables de densidad y de índice de expansión.

Es decir, la composición química del **T5** y **T6** no tienen efecto significativo sobre la densidad aparente, debido a que tienen una mínima concentración de griz de mashua lo que hace que tenga una baja densidad, es decir, a menor porcentaje de sustitución en la mezcla de materia primas se obtuvieron mayor grado de expansión radial y menor valor de densidad. Además, el diámetro de salida de la boquilla utilizado favorece los índices de expansión altos y por ende bajos valores de densidad aparente.

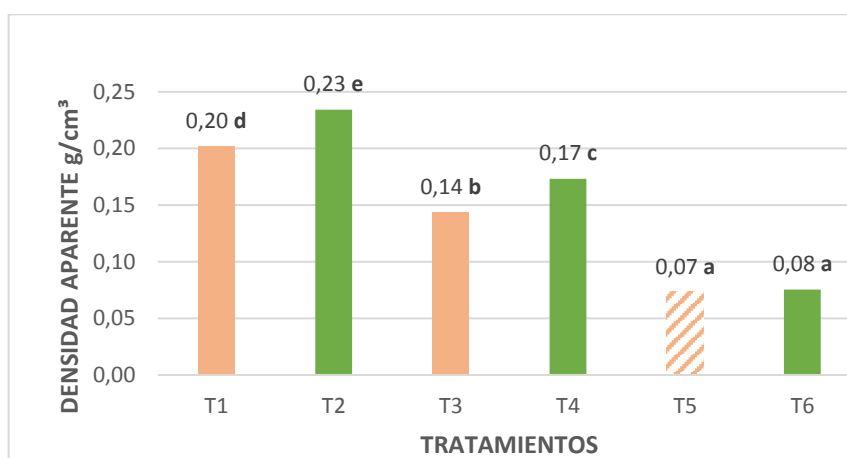


Figura 25. Densidad aparente del extruido de mashua

En la Figura 25 se observa que los mejores tratamientos son el **T5** ((95/5) y **T6** ((95/5) con diámetro de dado de 3mm y 5mm respectivamente. Donde se obtuvo valores de  $0,07\text{g/cm}^3$  y  $0,08\text{g/cm}^3$  los cuales son los valores más bajos en la variable estudiada. Según Valenzuela (2017), la densidad aparente es inversamente proporcional al índice de expansión. Además, el diámetro de 5mm favorece el aumento del caudal másico y la expansión axial, en consecuencia, disminuye la fuerza de presión necesaria para empujar la masa, resultando en una disminución de la expansión radial, así como de la energía mecánica específica, condición que se cumple en esta investigación, debido a que los extruidos que se obtuvieron con este dado, presentaron un alto valor de densidad aparente en los tratamientos **T2**, **T4** y **T6**.

Por otra parte, se observa una relación entre la densidad aparente y la sustitución de mashua. A mayor sustitución mayor densidad aparente (T1, T2), lo que puede deberse a que la mashua presenta un mayor contenido de fibra y las partículas de fibra rompen las paredes celulares antes de que las burbujas de aire se expandan a su máximo potencial aumentado de esta manera los valores para la DA (Tovar et al., 2017).

Asimismo, Altan (2012) indica que la densidad aparente del snack depende de la configuración del tornillo y la composición de las materias primas, cabe mencionar que la longitud del tornillo fue corta de 0.30 m que afectó a la distribución de los filetes. Por lo tanto, incidió en el tiempo de residencia bajo dentro del barril e insuficiente para alcanzar la gelatinización y fusión del almidón sobre toso de los tratamientos T1, T2, T3 y T4 que son los que mayor contenido de almidón resistente de mashua poseen.

Cabe señalar que el contenido de amilosa del almidón de mashua es mayor que el del maíz. Por lo tanto, según Jasim Ahmed, (2012) este almidón compite por el agua presente en la mezcla, impidiendo que la amilopectina absorba la cantidad de agua necesaria para su adecuada gelatinización y expansión radial. El contenido de amilosa presenta un efecto inverso sobre la expansión



Además, Valcárcel et al., (2013) indica que el origen biológico de los almidones también contribuye al aumento de la densidad. Asimismo, Semeijn & Buwalda, (2015) afirman que los almidones de mashua presentan resistencia a la ruptura lo cual sube la temperatura de fusión causando que el almidón de mashua no llegue a su explosión al mismo tiempo que los almidones del maíz.

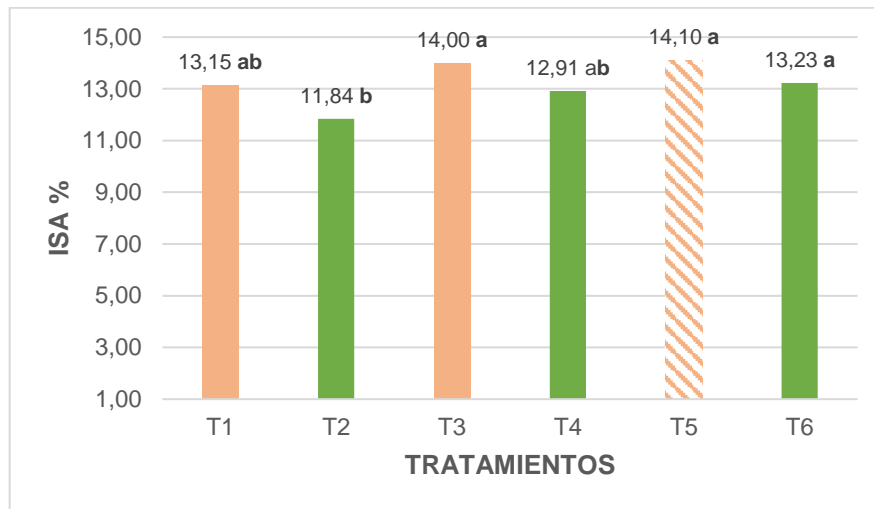
#### **4.2.3. ÍNDICE DE SOLUBILIDAD (ISA)**

Una vez realizado el análisis estadístico (Tabla 22) para el índice de solubilidad, se encontraron valores del  $f$  calculado más altos que los valores tabulares, lo que indica una significancia estadística ( $p < 0,05$ ) para los tratamientos y el factor **B**.

Al realizar la prueba de Tukey al 5% (Tabla 23) se observa que se formaron dos rangos para los tratamientos, es decir que los tratamientos son estadísticamente diferentes, como lo indicó el análisis de varianza. Cabe recalcar, que matemáticamente se destaca el tratamiento **T5** (95/5) y dado de 3mm, con media de 14,10% siendo el mejor tratamiento en la investigación, debido a que obtuvo el mejor valor promedio, mientras que el tratamiento **T2** (85/15) y dado de 5mm, con una media de 11,84 % es el que obtuvo el menor valor promedio en lo que respecta a la variable de índice de solubilidad. Según Rodríguez, Lascano & Sandoval, (2012) indican que los índices de solubilidad en agua están relacionados con la degradación de las cadenas de almidón.

Además, el diámetro de la boquilla de salida del extrusor es un factor muy importante para el análisis de la variable en estudio. Los índices de solubilidad en agua (ISA), se toman como un indicativo de la severidad del proceso de extrusión (diámetro 3mm mayor fricción) y del grado de modificación de los almidones por tratamientos termomecánicos (Rodríguez, Lascano, & Sandoval, 2012).

Para mejor comprensión de los datos que se obtuvieron en la investigación se construye la figura 26.



**Figura 26.** Índice de Solubilidad en agua (ISA)

En la Figura 26 se observa que los tratamientos **T1**, **T3**, **T4**, **T5** y **T6** obtuvieron el mejor valor medio en cuanto a la variable índice de solubilidad en agua (ISA) en el producto expandido, esto se debe a que durante el proceso de extrusión el almidón sufre una ruptura de sus cadenas formándose pequeños fragmentos los cuales hacen que aumente el ISA. Según Lascano & Cuggino, (2012) la solubilidad y absorción en agua son parámetros en donde se muestran la interacción de las cadenas de almidón cuyas interacciones se ven afectadas por la relación de amilosa/amilopectina y por las características de las mismas.

Rodríguez, Lascano & Sandoval, (2012) indican que los índices de solubilidad en agua están relacionados con la degradación de las cadenas de almidón durante la extrusión, así pues, el tratamiento **T5** (95/5) y dado de 3mm, con 14,10 % el valor más alto obtenido, esto se debe a que durante el proceso de extrusión este tratamiento posee mayor contenido de almidón de maíz el cual sufre una ruptura de sus cadenas, y de su fase cristalina pasando a su fase amorfa y formando pequeños fragmentos los cuales hacen que aumente el ISA .

Según Lascano & Cuggino, (2012) la solubilidad y absorción en agua son parámetros donde se muestra la interacción de las cadenas de almidón las cuales se ven afectadas por la relación de amilosa/amilopectina y por las características de las mismas, que son diferentes por el tipo de almidón y por su origen biológico.

Valenzuela et al., (2017) menciona que, los valores obtenidos en el ISA son indicadores del nivel de daño del almidón durante el procesamiento por extrusión, este comportamiento se puede comprobar en esta investigación donde se muestra que los tratamientos con mayor índice de expansión **T1**, **T3** y **T5** con diámetro de 3mm también presentan mayor valor para el ISA, esto puede deberse a que durante la extrusión estos tratamientos están expuestos a mayor presión, mayor tiempo de residencia dentro del barril y mayor fricción dando como resultado la modificación de los gránulos de almidón de la mashua y maíz. Razón por la cual, en el **T6** mezcla (95/5) se tiene un mayor valor de ISA que el **T1** mezcla (85/15), a pesar de la diferencia en la composición de las mezclas.

Este comportamiento es el resultado de la degradación del gránulo de almidón de maíz el cual por poseer un mayor tamaño y menor resistencia a la ruptura es sometido a mayor degradación dando paso a la formación de más productos solubles en agua. Por otra parte, el tamaño del almidón de la mashua, es inferior al del maíz, por lo tanto, se someten a menor daño en el proceso de extrusión, así mismo el almidón de mashua (por su origen biológico) tiene la característica de resistirse a la ruptura debido a la longitud de la cadena de amilopectina. (Rao, 2014).

De la misma forma en la figura 26 se observa que el tratamiento T6 posee un valor de 13,23 % siendo el valor más alto que el T1, lo que estaría relacionado al tipo y cantidad de almidón debido que el T6 está conformado en su mayoría por almidón de maíz, el cual es menos resistente al daño mecánico durante la extrusión.

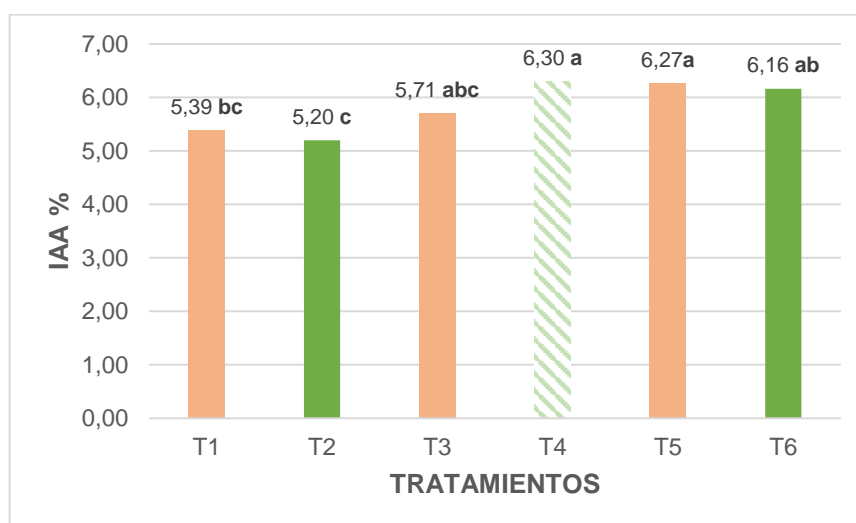
Según Yağci, (2008) el incremento del ISA encontrado en productos extruidos puede estar relacionado a los componentes de menor peso molecular facilitando su separación. Asimismo, Seth et al. (2015) en su investigación de extruidos de harina de mijo, afirmó que el aumento de la temperatura aumenta el grado de degradación del almidón, ocasionando un aumento en la cantidad de almidón soluble y por ende un aumento en el ISA. De igual forma, cuando en el procesamiento las condiciones son más severas por el cizallamiento mecánico, la solubilidad tiende a aumentar linealmente con la disminución de la viscosidad la misma que es indicativo de la disminución del peso molecular de las cadenas de amilosa y amilopectina.

#### 4.2.4. ÍNDICE DE ABSORCIÓN EN AGUA (IAA)

Con los datos que se obtuvieron en el laboratorio se procede a determinar si los tratamientos muestran diferencias significativas con la ayuda de análisis de varianza, como lo indica en la Tabla 23.

Después de haber realizado el análisis estadístico para el índice de absorción, se encontraron diferencias significativas para los tratamientos y para el factor **A** (mezcla de materias primas), por lo tanto, se dice que todos los tratamientos se comportaron de distinta manera para la absorción en agua. Se obtuvo un coeficiente de variación de 7,45%, este coeficiente de variación alto se puede deber a la variabilidad intrínseca de los tratamientos investigados.

La absorción de agua está estrechamente relacionada a la disponibilidad de grupos hidrófilos que se unen a las moléculas de agua así como a la capacidad de formación de gel de las macromoléculas (Altan, 2012).



**Figura 27.** Índice de absorción en agua (IAA)

En la Figura 27 se observó que los tratamientos **T4**, **T5** y **T6** que corresponde a la mezcla de (90/10) y diámetro del dado de 5mm y mezcla (95/5) con diámetros del dado de 3mm y 5mm son los que obtuvieron valores más altos siendo **T4** el que mayor valor tuvo en cuanto a la variable de IAA presentando una media de 6,30 %. Con lo que se relaciona con los anteriores resultados.

En efecto, se observa que los tratamientos **T1, T3, y T5** que fueron sometidos a una mayor fricción con el dado de 3mm son los que tienen valores altos de absorción. Según Altan, (2012) el IAA indica el grado de desnaturalización de las proteínas, la gelatinización del almidón y la hinchazón de la fibra. Lo que hace que aumenten los valores para la variable estudiada debido a que en la cocción por extrusión se forman poros que el agua puede penetrar debido a la mayor disponibilidad de grupos hidrófilos que pueden unir más moléculas de agua.

Según Rodríguez et al., (2012) la absorción en agua es un parámetro en donde se muestra la interacción de las cadenas de almidón cuyas interacciones se ven afectadas por la relación de amilosa/amilopectina y por las características de las mismas, Además, Valenzuela, (2017) reporta valores para IAA que van desde 2,7 a 5,6 % valores que como observamos en la Figura 29 tienen similitud, esto puede deberse a las diferentes condiciones en las que se desarrolló el experimento ya que esto podría estar relacionado al menor tiempo de residencia de la mezcla en el extrusor debido a que el equipo en que se desarrolló la investigación presenta características específicas en la longitud del tornillo.

Valenzuela et al., (2017) menciona que los almidones ricos en amilopectina tienen valores altos de IAA. Asimismo, el contenido de humedad inicial y la velocidad del tornillo afectan significativamente al IAA y según Allen et al., (2007) señalaron que la amilopectina tiene mayor capacidad de absorción de agua con respecto a la amilosa, de tal manera que almidones con alto contenido de este biopolímero presentan mayor IAA.

**Tabla 23.** Resumen de propiedades funcionales del producto extruido

TRAT	Funcionales			
	Índice de expansión	Densidad Aparente	Índice de solubilidad de agua	Índice de absorción de agua
T1	3,10± 0,17 <sup>d</sup>	0,20± 0,02 <sup>d</sup>	13,15± 1,02 <sup>ab</sup>	5,39± 0,44 <sup>bc</sup>
T2	3,07± 0,10 <sup>d</sup>	0,23± 0,02 <sup>e</sup>	11,84± 0,71 <sup>b</sup>	5,20± 0,36 <sup>c</sup>
T3	4,83± 0,19 <sup>b</sup>	0,14± 0,01 <sup>b</sup>	14,00± 0,17 <sup>a</sup>	5,71± 0,40 <sup>abc</sup>
T4	3,47± 0,12 <sup>c</sup>	0,17± 0,01 <sup>c</sup>	12,91± 0,35 <sup>ab</sup>	6,30± 0,44 <sup>a</sup>
T5	5,69± 0,33 <sup>a</sup>	0,07± 0,01 <sup>a</sup>	14,10± 1,35 <sup>a</sup>	6,27± 0,41 <sup>a</sup>
T6	5,44± 0,12 <sup>a</sup>	0,08± 0,01 <sup>a</sup>	13,23± 0,32 <sup>a</sup>	6,16± 0,56 <sup>ab</sup>

Xm/DS; Medias con distinta letra presentan diferencias estadísticas, de acuerdo a la prueba de Tukey ( $\alpha$  0.05).

#### 4.2.5. ANÁLISIS DE TEXTURA DE PRODUCTOS EXTRUIDOS

La textura es una cualidad sensorial que además es la respuesta kinestésica de los alimentos. Por lo tanto, la textura es considerada como una propiedad sensorial que poseen los alimentos. Además, puede ser percibida por los sentidos de tacto y del gusto; los métodos instrumentales de textura son medidas objetivas que determinan atributos mecánicos de textura (Anton & Luciano, 2007) (Guy et al., 2001).

Por consiguiente, con los datos obtenidos de textura, al finalizar el proceso de extrusión, se realizó el análisis estadístico, con el fin de establecer diferencias entre los tratamientos en estudio, como lo indica la Tabla 24.

**Tabla 24.** Análisis de varianza de textura instrumental del snack.

Fuentes de Variación	gl	PUNCIÓN	GUILLOTINA
		F-valor	F-valor
<b>Total</b>	59		
<b>Trat</b>	5	82,49 **	54,00 **
<b>A</b>	2	184,27 **	115,99 **
<b>B</b>	1	8,80 **	29,57 **
<b>AxB</b>	2	17,55 **	4,22*
<b>E. Exp</b>	54		
<b>CV %</b>		12,19%	6,23%

El análisis estadístico de textura instrumental registro que existe una alta significación estadística ( $p < 0.01$ ) para tratamientos, factor **A** (mezcla de materias primas), factor **B** (diámetro de la boquilla de salida del extrusor) y para la interacción **AB** (mezcla de materias primas vs diámetro de la boquilla de la salida).

Los coeficientes de variación registrados fueron 12,19 % y 6,23%, dichos valores altos pueden deberse a la variación intrínseca de la investigación. Además, al presentar diferencia altamente significativa se realizó el análisis funcional de Tukey.

En la Tabla 25 se observa la prueba estadística de Tukey al 5%, donde se formaron cinco rangos para punción y tres rangos para guillotina; destacándose el tratamiento **T5** (95/5) y dado de 3mm con una media de 2,89 N en la prueba de punción y 9,10 N en la prueba de guillotina, como el mejor valor promedio correspondiéndole el rango **a**, mientras que el tratamiento **T2** (85/15) y dado de 5mm con media de 8,56% es el que se ubicó en el último rango y alcanzó el mayor valor promedio en lo que respecta la variable textura instrumental.

**Tabla 25.** Resumen de propiedades funcionales del producto extruido

TRATAMIENTO	Textura	
	Punción (N)	Guillotina (N)
<b>T1</b>	7,33± 0,47 <sup>d</sup>	13,03± 0,84 <sup>c</sup>
<b>T2</b>	8,56± 0,69 <sup>e</sup>	13,88± 0,77 <sup>d</sup>
<b>T3</b>	6,64± 0,78 <sup>c</sup>	10,99± 0,76 <sup>b</sup>
<b>T4</b>	5,64± 0,65 <sup>b</sup>	11,46± 0,82 <sup>b</sup>
<b>T5</b>	2,89± 0,68 <sup>a</sup>	9,10± 0,56 <sup>a</sup>
<b>T6</b>	4,31± 0,95 <sup>b</sup>	10,87± 0,59 <sup>b</sup>

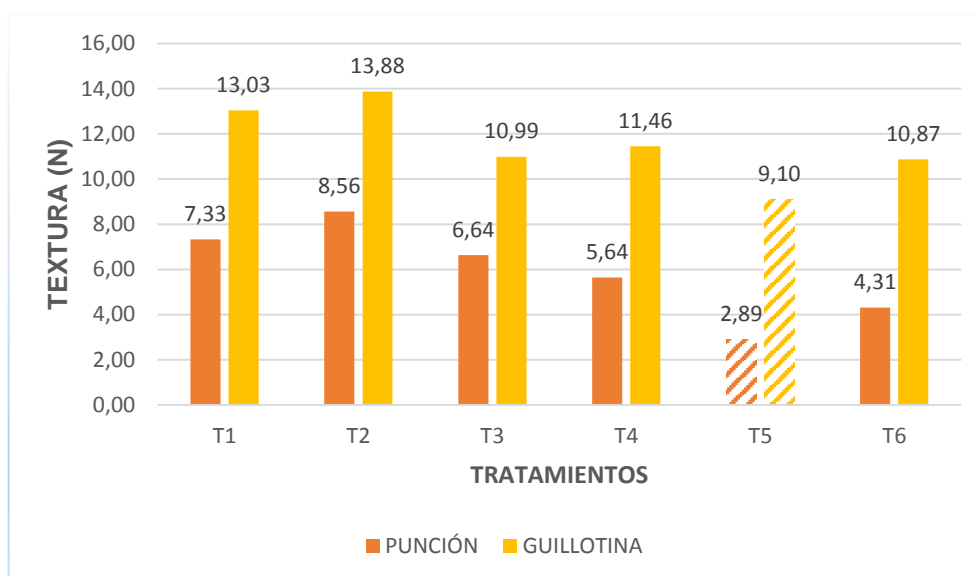
Los resultados obtenidos en la Tabla 25, según Neder et al., (2016), pueden deberse a la cantidad de amilosa presente en los distintos tratamientos, debido que, a mayor sustitución en la matriz alimentaria, mayor es la dureza del producto obtenido.

Los snacks extruidos con diámetros del dado de salida del extrusor de 3mm y 5mm, tienen un comportamiento diferente. Por lo tanto, formaron dos rangos (Anexo 8), es decir que el diámetro de 3mm utilizado en la investigación es el óptimo para el estudio de la textura instrumental por punción en el proceso de extrusión debido a

que este dado favorece el mayor índice de expansión dando como resultado menor valor dureza.

Por otro lado, el tratamiento **T2** con media de 13,88N obtuvo los valores más altos en la experimentación, además, se observó que el producto posee mayor dureza por las composiciones de la materia prima.

Los diámetros del dado de salida de 3 y 5mm, tienen un comportamiento diferente para la variable de textura instrumental por fuerza de guillotina, ya que se formó tres rangos, cabe resaltar que el nivel B1 con una media de 9,10 N es el que obtuvo el mejor valor promedio, es decir dicho diámetro es el óptimo para el estudio de la variable en el proceso de extrusión, debido que diámetros menores aumentan el IE y disminuyen la textura instrumental.



**Figura 28.** Textura instrumental del extruido de mashua

En la Figura 28 se observó que el tratamiento **T5** (95/5) y dado de 3mm, es el mejor tratamiento con valores de 2.89 y 9,10 N para fuerza de punción y guillotina respectivamente y le corresponde el menor valor de dureza, debido al porcentaje de sustitución de las materias primas en el proceso de extrusión. Es decir, en dicho tratamiento el mayor porcentaje de sustitución es del maíz, cereal con óptimas cualidades para la extrusión por su reducido contenido de fibra, proteína y su alto contenido de amilopectina, almidón responsable de la expansión (Pérez et al., 2007).



En la variable de textura instrumental interviene la presión que ejerce el dado de 3mm dentro del extrusor, ya que cuando la presión aumenta, el extruido aumenta su expansión radial y disminuye la dureza. Además, contienen mayor cantidad de aire aumentando sus paredes porosas y disminuyendo la humedad por la rápida evaporación del agua, estos snacks se caracterizan por ser ligeros y crujientes y también por sus paredes más porosas y con mayor número de burbujas (Bhatnagar & Hanna, 1994) (Yang et al., 2016).

Así mismo, Yang et al., (2016) menciona que la dureza y la fragilidad del extruido están relacionadas con el daño del almidón, como se observa en esta investigación ya que, el almidón expuesto a un mayor tiempo de residencia dentro del barril por el dado de diámetro de 3mm sufre mayor daño y ruptura en la cizalladura mecánica. Por lo tanto, absorbe más agua por sus partículas de menor tamaño gelatinizando más rápido y pasa a fase amorfa, de esta manera aumenta su índice de expansión como lo vemos en el tratamiento T5. (Yang et al., 2016).

Yang et al., (2016), menciona que la dureza y la fragilidad del producto disminuyen con el aumento de la presión mecánica; comprobándose en esta investigación, donde los valores más bajos para textura se tienen con el dado de 3mm de diámetro. Asimismo, Chakraborty et al., (2009) afirma que la diferencia de presiones aumenta la expansión, debido a la rápida evaporación de la humedad de la masa fundida. Por lo cual se tiene una masa estirada y con formación de más burbujas de aire, como resultado, las muestras ganan paredes porosas más delgadas y crujientes y menor valor de densidad aparente.

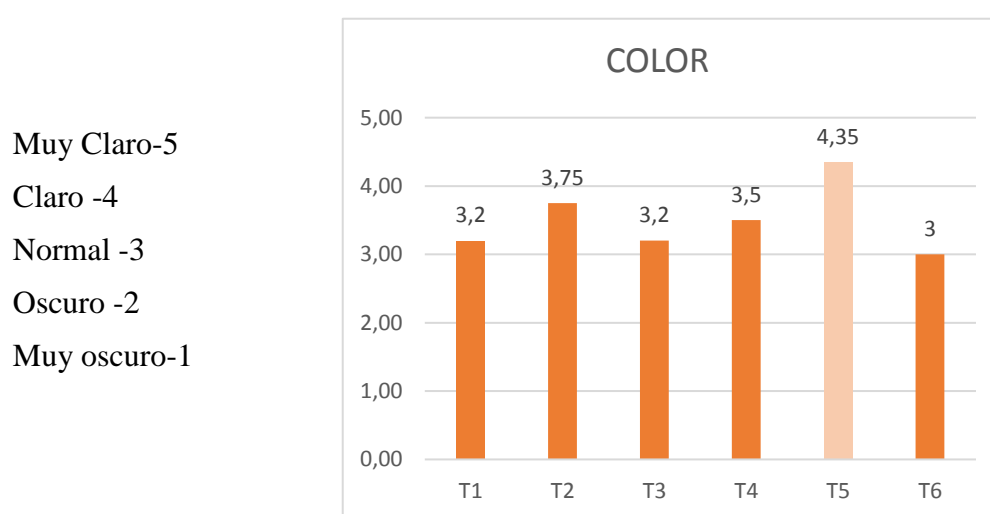
Berwig et al., (2017) menciona de las propiedades más importantes de los productos extrudidos es la textura, la cual está muy relacionada a mayor expansión, menor densidad y menor contenido de humedad. Lo que se observa en los tratamientos T1, T3 y T5 en donde la expansión del producto es más evidente y ocurre en las direcciones axial y radial siendo la expansión radial la más importante y refleja la expansión global del extruido tal como lo indica (Lezcano & Cuggino, 2002).

### 4.3. ACEPTABILIDAD SENSORIAL

#### COLOR

El producto extruido a base de gritz de mashua – maíz, presenta color crema; esto se debe a que, en la mezcla para la extrusión están diferentes porcentajes de materias primas.

En la Figura 29 se observa las medias de los valores dados por los 10 panelistas de la degustación del producto extruido.



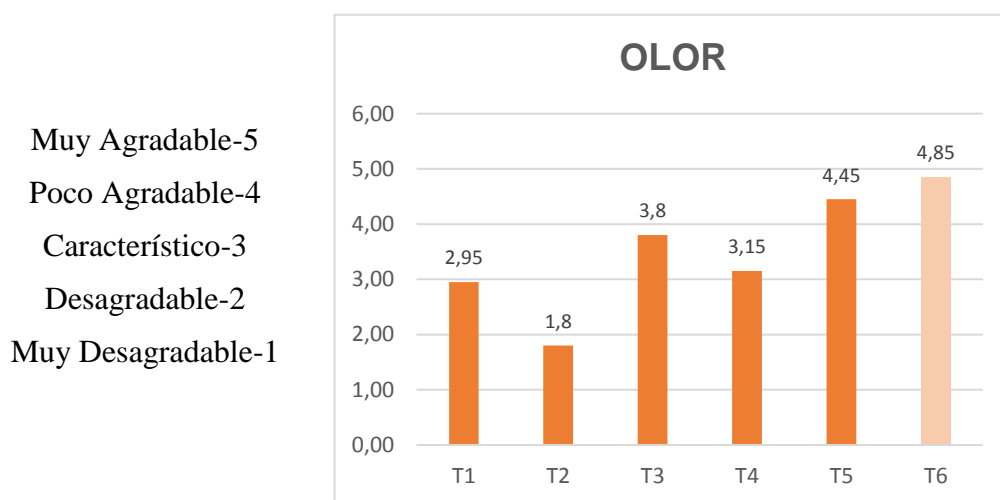
**Figura 29.** Color del producto extruido

En la Figura 29 se observa el efecto de la incorporación de diferentes materias primas en el proceso de extrusión, así como las condiciones en que se desarrolla la extrusión pues estos dos factores afectan el color del producto extruido (Altan, 2012). En efecto, para el color de los productos extruidos se observa que el tratamiento T5 obtuvo la nota más alta, y se encuentra entre el rango de muy claro, por lo tanto, es el mejor tratamiento. Debido a que este tratamiento tiene la menor proporción de gritz de mashua; es decir tiene el color característico del maíz que es una mezcla homogénea y de color uniforme, que le confieren un color más apreciable a la vista y más apetecible para el gusto del grupo de consumidores.

## OLOR

Según Hernández (2016), el olor es un conjunto de sensaciones percibidas por el órgano olfativo cuando inspira determinadas sustancias aromáticas volátiles, las sustancias aromáticas son las responsables de las cualidades organolépticas de los mismos, es por eso que un alimento no debe presentar olores extraños, como, por ejemplo: olores rancios.

En la Figura 30 se observa las medias de los valores dados por los 10 consumidores que realizaron la degustación del producto extruido



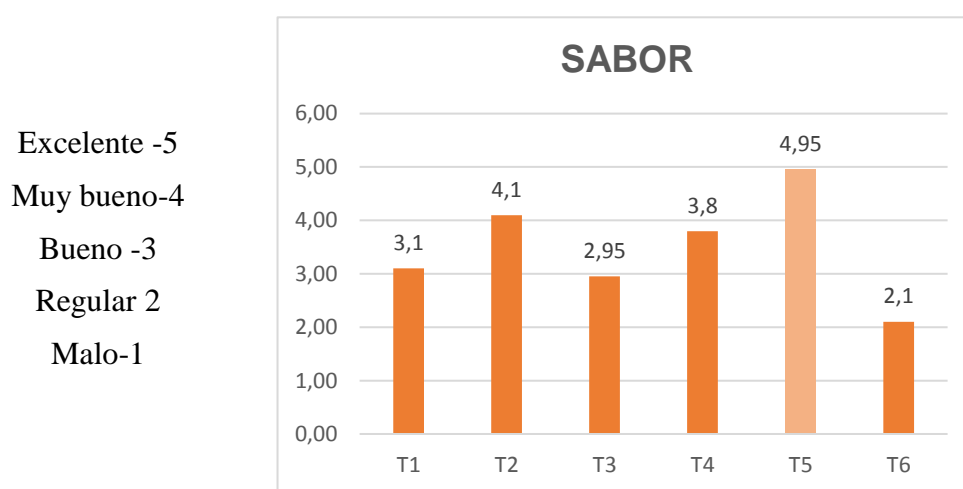
**Figura 30.** Olor del producto extruido

En la Figura 30 se observa el efecto del porcentaje de mezcla de materias primas, observándose que el tratamiento T6 que corresponde a 5% gritz de mashua 95% gritz de maíz obtuvo la nota más alta, encontrándose en el rango de olor muy agradable debido a que el porcentaje de la mezcla de materias primas en el tratamiento T6 tiene menor presencia de gritz de mashua, lo que le confiere el olor característico del maíz. Mientras, los tratamientos T3, T4 y T5, se encuentran en el rango de olor característico y poco agradable debido a la mayor cantidad de mashua. Por otro lado, los tratamientos T1 y T2 están en el rango de desagradable y muy desagradables lo cual se podría deber a la mayor cantidad de gritz de mashua en la mezcla proporcionándoles un olor característico del tubérculo.

## SABOR

El sabor es la sensación que producen los alimentos en el gusto, como consecuencia del estímulo de las papilas gustativas, por ciertas sustancias solubles que son características de cada producto (Hernández, 2016).

En la Figura 31 se observa las medias de los valores dados por los 10 panelistas que realizaron la degustación del producto extruido



**Figura 31.** Sabor del producto extruido

En la Figura 31 se puede observar que para los panelistas el tratamiento que mayor aceptación tubo en cuanto al sabor fue el tratamiento T5 5% gritz de mashua – 95 % gritz de maíz. Además, se observó que el tratamiento T5 con una media de 4,95 es el más apreciado para los consumidores, debido a que en la mezcla se tiene una menor presencia de mashua, pues a porcentajes elevados de gritz de mashua se tienen sabores picantes propios de este tubérculo.

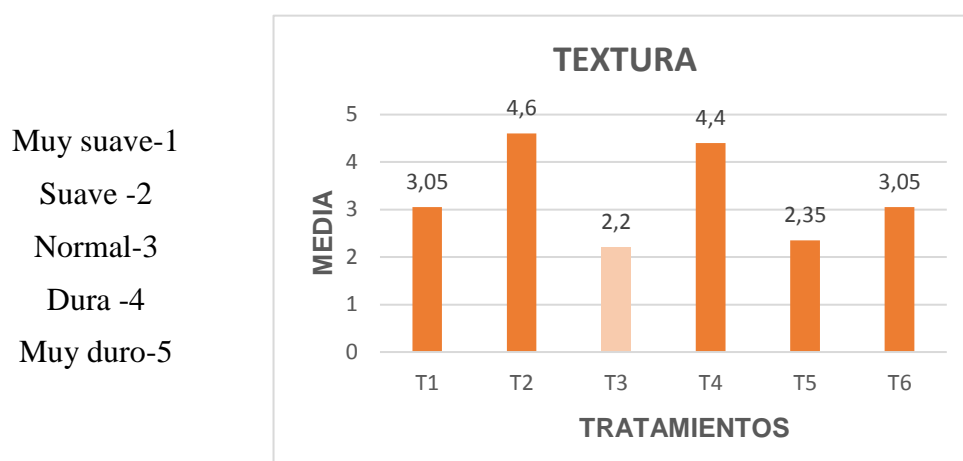
En cuanto, a los tratamientos T1y T4 se encuentran en el rango de buenos y muy buenos para el consumo. Sin embargo, el T3 y T6 les corresponde le rango de regular, por lo que no es muy apetecido por los consumidores.

## TEXTURA

Según Rosenthal, (2001) la textura es un conjunto de atributos, sensaciones o propiedades de un alimento que se perciben a través de la masticación; son características capaces de estimular los receptores mecánicos durante la

degustación, particularmente los que se encuentran localizados en la región bucal y el oído (Rosenthal, 2001).

En la figura 32 se observa las medias de los valores dados por los 10 consumidores que realizaron la degustación del producto extruido



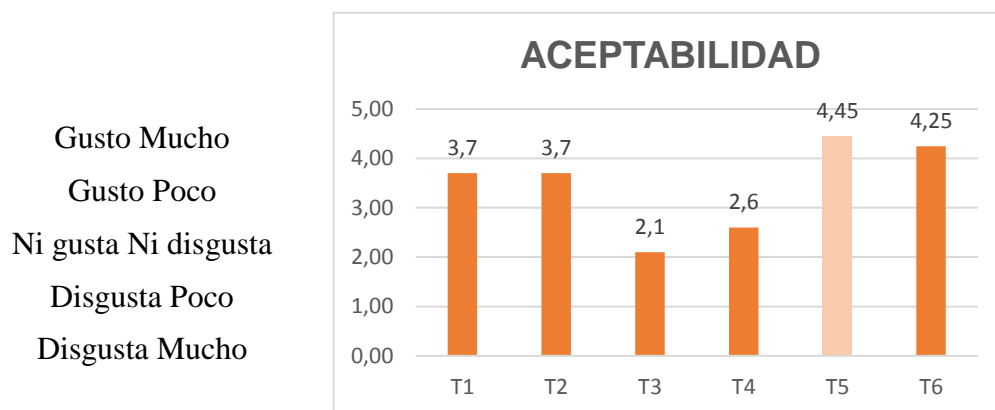
**Figura 32.** Textura del producto extruido

En la Figura 32 se observa que a mayor porcentaje de sustitución en la mezcla y a las condiciones específicas de trabajo del extrusor se obtiene mayor dureza, se observa que el tratamiento T2 y T4, son los que obtuvieron altos valores con una media de 4,6 y 4,4 lo que indica una textura más dura y con menor índice de expansión valores que se pueden deber a el mayor diámetro de salida del extrusor que es de 5mm.

Por otro lado, los tratamientos T3 y T5 les corresponde el valor más bajo de textura, convirtiéndose en los más apetecibles por parte del consumidor y entrando en el rango de suave y muy suave, lo cual podría deberse a la utilización del dado de 3mm, siendo el que ayuda a evaporar la mayor cantidad de humedad durante el proceso de extrusión.

## **ACEPTABILIDAD**

En la Figura 33 se observa las medias de los valores dados por los 10 panelistas que realizaron la degustación del producto extruido



**Figura 33.** Aceptabilidad del producto extruido

En la figura 33 se puede observar que el T5 obtuvo las más altas puntuaciones mostrando un valor de 4,45 tomando el rango de gusto mucho. Mientras que los demás tratamientos tienen una variación de puntuación. Por lo tanto, se puede afirmar que el tratamiento T5 (5% griz de mashua - 95% griz de maíz) es el tratamiento más aceptado en cuanto a la variable aceptabilidad.

**Tabla 26.** Friedman para variables cualitativas

VARIABLE	V. CALCULADO $\chi^2$	SIGNIFICANCIA	V. TABULAR $\chi^2$	
			5%	1%
<b>COLOR</b>	3,47	NS	11,070	15,086
<b>OLOR</b>	17,5	**	11,070	15,086
<b>SABOR</b>	14,21	*	11,070	15,086
<b>TEXTURA</b>	17,27	**	11,070	15,086
<b>ACEPTABILIDAD</b>	13,3	*	11,070	15,086

Una vez realizada la prueba de Friedman al 5%, tabla 26, se observó una no significación estadística para la variable de color lo que nos indica que los tratamientos no tuvieron una variación de color muy perceptible por los catadores esto puede deberse a la baja concentración de fibra, que es la responsable del pardeamiento de los alimentos (Altan, 2012).

En cuanto al olor, existe una alta significación estadística la cual indica que los tratamientos si tuvieron diferencias perceptibles debido a que a mayor

concentración de mashua (15% gritz de mashua – 85% gritz de maíz) los tratamientos adquirieron el olor característico del tubérculo.

En la variable de sabor si se tuvo una significación estadística debido a que a mayor porcentaje de sustitución el extruido adquiere un sabor ligeramente picante característico de la mashua.

Para la textura se observa una alta significación estadística debido a que la textura de los tratamientos aumenta conforme la sustitución de las mezclas y las condiciones de operación del extrusor (Altan, 2012) por esta razón los catadores encontraron extruidos suaves y también extruidos muy duros. Para la aceptabilidad, se tiene una significación estadística que indica la aceptación que tuvo cada tratamiento.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Después de terminada la investigación y con los datos obtenidos se procede a realizar las siguientes conclusiones y recomendaciones:

#### **5.1. CONCLUSIONES**

- Conforme disminuye la concentración de sustitución en la matriz alimentaria (85/15; 90/10; 95/5) y disminuye el diámetro del dado (5mm; 3mm) los extruidos presentaron altos contenidos de carbohidratos por la disminución de la humedad y bajos contenidos de proteína, los cuales son los componentes más importantes en la extrusión.
- El diámetro del dado de 3mm tuvo un efecto altamente significativo en el incremento del índice de expansión (5,69%) y al mismo tiempo en la disminución de la densidad aparente ( $0,07\text{g/cm}^3$ ) del producto extruido.
- El tipo de matriz alimentaria (95/5) tuvo un efecto altamente significativo en el incremento del índice de absorción de agua en el T5 (95/5) a medida que disminuyó la sustitución de griz de maíz por griz de mashua. Mientras que la disminución del diámetro del dado de 5mm a 3mm no tuvo efecto significativo sobre el índice de absorción del extruido.
- El diámetro de 3mm del dado tuvo un efecto significativo sobre el incremento de la solubilidad del extruido por la mayor fuerza de cizalla a la que fue sometido el T5 (95/5) dado de 3mm dentro del barril. Mientras el tipo de matriz alimentaria (95/5; 90/10; 85/15) no presentó efecto sobre el índice de solubilidad.



- La disminución de la sustitución del gritz de maíz por gritz de mashua (95/5) y la disminución del diámetro del dado (3mm) tuvieron efectos altamente significativos en la disminución de la fuerza de punción y la fuerza de corte es decir los extruidos presentaron menores valores de dureza (2,89 N) y mayor crujencia (9,10 N).
- El análisis organoléptico determinó que el T5 (95/5) dado de 3mm, con mayor contenido de maíz presentó resultados favorables en el panel de consumidores, por lo tanto, se considera como el tratamiento aceptable debido a su agradable sabor y mejor textura.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda utilizar un equipo que permita la variación de temperatura en las diferentes cámaras que conforman el equipo de extrusión, debido a que la temperatura es un factor importante en la gelatinización del almidón y por consiguiente el índice de expansión del producto extruido.
- Se recomienda utilizar la mashua en porcentajes mayores al 15% de sustitución y temperatura mayores a los 123<sup>0</sup>C, para permitir una correcta expansión del almidón de mashua ya que se podrían obtener valores más altos de índice de expansión.

# BIBLIOGRAFÍA

## REFERENCIAS TEXTUALES

- Adekola, K. A. (2015). Predictive equations and response surface analysis for sorghum grain extrudate. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 17(4), 247-256. Recuperado de <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84951977531&partnerID=40&md5=17993526c6ddb07b34f12a50dc4b6d1a>
- Ahmed, J., Ptaszek, P., Basu, S., & Tornberg, E. (2017). *Advances in Food Rheology and its Applications*. *Advances in Food Rheology and its Applications*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100431-9.00008-5>
- Ahmed, Jasim. (2012). *Mechanical, Rheological, and Thermal Properties of Starch-Based Nanocomposites*. *Starch-Based Polymeric Materials and Nanocomposites*. <https://doi.org/10.1201/b11848>
- Allen, K. E., Carpenter, C. E., & Walsh, M. K. (2007). Original article Influence of protein level and starch type on an extrusion-expanded whey product, 953-960. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01316.x>
- Altan, M. M. 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. (2007). Instrumental texture evaluation of extruded snack foods: A review. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*, 5(4), 245-251. <https://doi.org/10.1080/11358120709487697>
- Barrera, V., Brito, B., Caicedo, C., Cordova, J., Espín, S., Espinoza, P., ... Villacrés, E. (2004). *Raíces y tubérculos Andinos: Alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador*. *Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos: Una década de investigación para el desarrollo (1993-2003)* (Vol. 4). Recuperado de

[https://www.researchgate.net/profile/Beatriz\\_Brito2/publication/237518645\\_Caracterizacin\\_Fsico\\_-\\_Qumica\\_Nutricional\\_y\\_Funcional\\_de\\_Races\\_y\\_Tubrculos\\_Andinos/links/543939680cf2d6698be16138.pdf#page=102](https://www.researchgate.net/profile/Beatriz_Brito2/publication/237518645_Caracterizacin_Fsico_-_Qumica_Nutricional_y_Funcional_de_Races_y_Tubrculos_Andinos/links/543939680cf2d6698be16138.pdf#page=102)

Beltrán, M., & Marcilla, A. (2012). Tema 4: Extrusión. *Tecnología de Polímeros*, 102-167. Recuperado de <http://iq.ua.es/TPO/Tema4.pdf>

Bhatnagar, S., & Hanna, M. a. (1994). Amylose-Lipid Complex Formation During Single-Screw Extrusion of Various Corn Starches. *Cereal Chem.*, 71, 582-587. Recuperado de <http://www.aaccnet.org/publications/cc/backissues/1994/Documents/CC1994a146.html>

Bouvier, J.-M., & Campanella, O. H. (2014). *Extrusion Processing Technology*. <https://doi.org/10.1002/9781118541685>

Bustos, M. (2016). *Snack Saludable*. Universidad de Chile.

Cgiar, C., Manrique, I., Arbizu, C., Vivanco, F., Gonzales, R., Ramírez, C., ... Ellis, D. (2014). *Tropaeolum tuberosum Ruíz & Pav.* Colección de germoplasma de mashua conservada en el Centro Internacional de la Papa (CIP). <https://doi.org/10.4160/9789290604310>

Chakraborty, S. K., Singh, D. S., Kumbhar, B. K., & Singh, D. (2009). Process parameter optimization for textural properties of ready-to-eat extruded snack food from millet and legume pieces blends. *Journal of Texture Studies*, 40(6), 710-726. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4603.2009.00207.x>

Cheftel, J. C. (1986). Nutritional effects of extrusion-cooking. *Food Chemistry*, 20(4), 263-283. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(86\)90096-8](https://doi.org/10.1016/0308-8146(86)90096-8)

Chirinos, R., Rogez, H., Campos, D., Pedreschi, R., & Larondelle, Y. (2007). Optimization of extraction conditions of antioxidant phenolic compounds from mashua (*Tropaeolum tuberosum Ruíz & Pavón*) tubers. *Separation and Purification Technology*, 55(2), 217-225. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2006.12.005>

- Clextral S.A. (2011). Tecnologías y líneas de extrusión. Recuperado de <http://www.clextral.com/es/tecnologias-lineas/tecnologias-y-procesos/extrusion-de-doble-tornillo-caracteristicas-y-beneficios/>
- Cortez, A. (2016). *Estudio del tiempo de conservación de una bebida nutraceútica a partir de mashua Tropaeolum tuberosum*. Universidad Técnica del Norte.
- Dergal, S. B. (2012). *Química Alimentos* (Quinta edi). México.
- Ding, Q. B., Ainsworth, P., Plunkett, A., Tucker, G., & Marson, H. (2006). The effect of extrusion conditions on the functional and physical properties of wheat-based expanded snacks. *Journal of Food Engineering*, 73(2), 142-148. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.01.013>
- Encina, C., Guevara, A., & Vílchez, L. (2012). INFLUENCIA DEL TAMAÑO DE PARTÍCULA, HUMEDAD Y TEMPERATURA EN EL GRADO DE GELATINIZACIÓN DURANTE EL PROCESO DE EXTRUSIÓN DE MACA (*Lepidium meyenii* Walp). *Rev Soc Quím Perú*, 78(2), 126-137.
- Escalante, A., Ponce, N., Ramírez, B., Torres, P. I., Figueroa, J. D. D., & Gutiérrez, R. (2016). Specific Anthocyanin Contents of Whole Blue Maize Second-Generation Snacks: An Evaluation Using Response Surface Methodology and Lime Cooking Extrusion. *Journal of Chemistry*, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/5491693>
- Espín, S., Villacrés, E., Brito, B., Espinosa, P., Monteros, A., Villacrés, E., ... Gerardo, H. (2003). *Caracterización físico-química, nutricional y funcional de raíces y tubérculos andinos. Conservación y uso de la biodiversidad de raíces y tubérculos andinos* (Vol. 4). Recuperado de [http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/Raíces y Tubérculos Alternativas para el uso sostenible en Ecuador.pdf](http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/Raíces_y_Tubérculos_Alternativas_para_el_uso_sostenible_en_Ecuador.pdf)
- Fellows, P. (2007). Tecnología del procesado de los alimentos: Principios y práctica. (pp. 355-377).
- Grau, A., Ortega, R., Nieto, C., Hermann, M. (2003). *Mashua Tropaeolum tuberosum Ruiz and Pav. Promoting the Conservation and Use of*

*Underutilized and Neglected Crops.*

- Guerrero, A. (2014). Facultad de Química Química de Alimentos: Almidón. *Almbra Mexicana*, 1(3), 1-10.
- 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., Mottaz, J., Riaz, M., Sellahewa, J., Bouvier, J., Camire, M., & Kazemzadeh, M. (2001). *Extrusion cooking. Statewide Agricultural Land Use Baseline 2015*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Hernández, E. (2016). *Evaluacion sensorial. Evaluacion sensorial*. Universidad Nacional Abierta y Adistancia - UNAD. Recuperado de [http://www.inocua.org/site/Archivos/libros/m evaluacion sensorial.pdf](http://www.inocua.org/site/Archivos/libros/m%20evaluacion%20sensorial.pdf)
- Ibarz, A., Barbosa, G., Garza, S., & Gimeno, V. (2000). *Métodos experimentales en la ingeniería alimentaria*. (Acribia, Ed.). Zaragoza.
- Jozinović; Subarić, A. . D. A. J. B. B. M. I. S. D. (s. f.). Properties of Corn Extrudates With Addition of.
- Kokini, J., & Cisneros, F. (2002). *EFFECT OF EXTRUSION OPERATING PARAMETERS ON f r o. System* (Vol. 25).
- Krisetheron, P. (2002). *Bioactive compounds in foods: their role in the prevention of cardiovascular disease and cancer. The American Journal of Medicine* (Vol. 113). [https://doi.org/10.1016/S0002-9343\(01\)00995-0](https://doi.org/10.1016/S0002-9343(01)00995-0)
- Lezcano, A. E. P., & Cuggino, M. I. (2002). Desarrollo de alimentos precocidos por extrusión a base de maíz-leguminosa. *Alimentos argentinos*, 50, 1-90.
- Llopart, E. (2011). Efectos de las condiciones de extrusión en las propiedades fisicoquímicas y funcionales de productos extrudidos de sorgo integral de bajo contenido de taninos, 141.

- Luque Guillen, M. V. (2011). Estructura Y Propiedades de las Proteínas. *Bioquímica Médica*, 5, 1-162.
- Lusero, E. (2014). Producción Histórica de Maíz Duro Seco, 15.
- MAG. (2013). Situación actual de producción de maíz duro. Recuperado de <https://www.agricultura.gob.ec/analizan-situacion-actual-de-la-produccion-de-maiz/>
- Martínez, F., Viveros, R., Galicia, T., Nabeshima, E. H., & Verdalet, I. (2011). Some functional characteristics of extruded blends of fiber from sugarcane bagasse, whey protein concentrate, and corn starch. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 31(4), 870-878. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612011000400007>
- Moscicki, L., & Zuilichem, scicki and D. J. van. (2011). *Extrusion-Cooking Techniques*. (L. Moscicki, Ed.). Alemania.
- Myat, L., & Ryu, G. H. (2014). Characteristics of destarched corn fiber extrudates for ethanol production. *Journal of Cereal Science*, 60(2), 289-296. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2014.06.006>
- Naves, M. M. V., Castro, M. V. L. de, Mendonça, A. L. de, Santos, G. G., & Silva, M. S. (2011). Corn germ with pericarp in relation to whole corn: nutrient contents, food and protein efficiency, and protein digestibility-corrected amino acid score. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 31(1), 264-269. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612011000100040>
- Neder, D., Amaya, C. A., Quintero, A., Pérez, E., De J Alanís, M. G., Báez, J. G., ... Jiménez, J. A. (2016). Physicochemical changes and resistant-starch content of extruded cornstarch with and without storage at refrigerator temperatures. *Molecules*, 21(8), 1-20. <https://doi.org/10.3390/molecules21081064>
- Paula, A. M., & Conti-Silva, A. C. (2014). Texture profile and correlation between sensory and instrumental analyses on extruded snacks. *Journal of Food Engineering*, 121(1), 9-14. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.08.007>

- Pérez, C., Betancur, D., Casotto, M., Carmona, A., & Tovar, J. (2007). Efecto de la extrusión sobre la biodisponibilidad de proteína y almidón en mezclas de harinas de maíz y frijol lima. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 57(7), 278-286.
- 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>
- Quiroz, D., & Merchán, M. (2016). Guía para facilitar el aprendizaje en el manejo integrado del cultivo de maíz duro. *Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias*, 126.
- Rao, N. S. (2014). *Diagnostics of Extrusion Processes. Diagnostics of Extrusion Processes*. <https://doi.org/10.3139/9781569905692>
- 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>
- Riaz, M. N., & Rokey, G. J. (2017). *EXTRUSION PROBLEMS SOLVED. The Science of Armour Materials*. Filadelfia. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100704-4.09001-0>
- Ritva, C., Pilco, J., & Zelada, R. (2011). Desarrollo y elaboración de un snack estruido a partir de quinua *Chenopodium quinoa* y maíz *Zea mays* L. *Ingeniería Industrial*, 10.
- Rodríguez, E., Lascano, A., & Sandoval, G. (2012). Influencia De La Sustitucion Parcial De La Harina De Trigo Por Harina De Quinua Y Papa En Las Propiedades Termomecánicas Y De Panificación De Masas. *Artículo Científico*, 15(1), 199-207.
- Rodríguez, J., Ramírez, B., Vivar, M., Solís, A., Gómez, C., Castro, J., ... E, D. (2014). EFFECT OF BEAN FLOUR CONCENTRATION ( *Phaseolus vulgaris* L .), MOISTURE. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 13(3), 649-663.

- Romo, T. (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*. Universidad de las Américas.
- Rosenthal, A. j. (2001). *Textura de alimentos. Medida y percepción*. Quito: INIAP.
- Ruiz, X. A., Zazueta, J. de J., Aguilar, E., Delgado, C. I., López, A., Camacho, I. L., ... Martínez, F. (2017). Effect of extrusion on the carotenoid content, physical and sensory properties of snacks added with bagasse of naranjita fruit: optimization process. *CyTA - Journal of Food*.  
<https://doi.org/10.1080/19476337.2017.1368717>
- S/A. (2008). *Control De Calidad En El Proceso De Fabricación De Alimento Balanceado Extruido Para Especies Acuicolas*. Recuperado de <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/458/1/964.pdf>
- Salinas, Y., Pérez, P., Castillo, J., & Álvarez, L. A. (2003). RELACIÓN DE AMILOSA: AMILOPECTINA EN EL ALMIDÓN DE HARINA NIXTAMALIZADA DE MAÍZ Y SU EFECTO EN LA CALIDAD DE LA TORTILLA AMYLOSE:AMYLOPECTIN RATIO IN STARCH OF NIXTAMALIZED MAIZE FLOUR AND ITS RELATIONSHIP WITH TORTILLA QUALITY. *Artículo Científico Rev. Fitotec. Mex*, 26(2), 115-121.
- Sánchez, I. (2014). Maíz I ( *Zea mays* ). *Reduca*, 7(2), 151-171. Recuperado de <http://eprints.sim.ucm.es/27974/1/MAIZ I.pdf>
- Semeijn, C., & Buwalda, ; Pieter L. (2011). Starch in food Structure, Function and Applications. En S. N. L. Malin (Ed.) (pp. 395-508).  
<https://doi.org/10.1360/zd-2013-43-6-1064>
- 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*.  
<https://doi.org/10.1007/s13197-013-1181-x>
- Sevatson, E., & Huber, G. R. (2000). Extruders in Food Industry. *Extruders in Food*



*Applications.*

- Shahidi, F., & Yeo, J. D. (2016). Insoluble-bound phenolics in food. *Molecules*, 21(9). <https://doi.org/10.3390/molecules21091216>
- Toledo, D., & Escobar, C. (2004). *Raíces Andinas* : Lima.
- Tovar, C. E., Peragan, E. A., Enriquez, M. G., Pismag, Y., & Fernandez, L. C.-. (2017). EVALUACIÓN DEL EFECTO DE EXTRUSIÓN EN HARINA DE QUINUA ( *Chenopodium quinoa* Willd ) NORMAL Y GERMINADA EXTRUSION PROCESS EFFECT EVALUATION ON NORMAL AND GERMINATED FLOUR QUINOA ( *Chenopodium quinoa* Willd ) AVALIAÇÃO DO EFEITO DO PROCESSO DE EXTRUSÃO NA FA, 15(2), 30-38.
- Valcárcel, B., Rondán, G. G., & Finardi, F. (2013). The physical, chemical and functional characterization of starches from andean tubers: Oca (*Oxalis tuberosa* molina), olluco (*Ullucus tuberosus* caldas) and mashua (*Tropaeolum tuberosum* ruiz & pavón). *Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences*, 49(3), 453-464. <https://doi.org/10.1590/S1984-82502013000300007>
- Valenzuela, J. L., Gutiérrez, R., Pacheco, R., Lugo, M. E., Valdez, J. B., Reyes-Moreno, C., ... Muy-Rangel, M. D. (2017). Botanas expandidas a base de mezclas de harinas de calamar, maíz y papa: efecto de las variables del proceso sobre propiedades fisicoquímicas. *CYTA - Journal of Food*, 15(1), 118-124. <https://doi.org/10.1080/19476337.2016.1219391>
- Varela, P., Ares, G., & Fiszman, S. (2013). TEXTURE AND SEMANTICS : THE CONCEPTUAL STRUCTURE IN CONSUMERS ' MINDS. <https://doi.org/10.1111/joss.12035>
- Vásquez, L., & Lucía, A. (2017). *Desarrollo de un snack horneado a base de de maíz y adición de fitoesteroles de palma (Elaeis guineensis), con mejormiento del extracto etéreo*. Zamorano.
- Wagner, J., Mount, E., & Giles, H. (2014). *Extrusion: The Defenitive Processing Guide And Handbook* (Segunda Ed). Oxford.

- Wu, M., Liu, Y., Wang, L. J., & Li, D. (2015). Effects of extrusion parameters on rheological properties, chromatism, protein solubility and microstructure of flaxseed-corn mixture. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 8(6), 89-98. <https://doi.org/10.3965/j.ijabe.20150806.2067>
- Wu, M., Liu, Y., Wang, L. J., Li, D., & Mao, Z. H. (2015). Effects of extrusion parameters on physicochemical properties of flaxseed snack and process optimization. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 8(5), 121-131. <https://doi.org/10.3965/j.ijabe.20150805.2093>
- Yağci, S., & Göğüş, F. (2008). Response surface methodology for evaluation of physical and functional properties of extruded snack foods developed from food-by-products. *Journal of Food Engineering*, 86(1), 122-132. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2007.09.018>
- Yang, Q., Yang, Y., Luo, Z., Xiao, Z., Ren, H., Li, D., & Yu, J. (2016). Effects of Lecithin Addition on the Properties of Extruded Maize Starch. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40(1), 20-28. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12579>

## ANEXOS

### ANEXO 1. PROCESO DE ELABORACION DE EXTRUIDO DE MAÍZ – MASHUA

RECEPCIÓN DE LA MATERIA PRIMA		
Gritz de maíz 	Gritz de mashua 	
PESADO		
gritz de mashua 15% 	Gritz de mashua 10% 	gritz de mashua 5% 
EXTRUSIÓN		
Extrusor 	Proceso de extrusión 	Producto extruido 

**ANEXO 2. PLANTILLA PARA EL ANÁLISIS DE ACEPTABILIDAD  
SENSORIAL DEL EXTRUIDO DE MAÍZ-MASHUA.**

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

Nombre \_\_\_\_\_ Fecha \_\_\_\_\_

**“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA MEZCLA GRITZ DE MAÍZ *Zea mays*-  
GRITZ DE MASHUA *Tropaeolum tuberosum*/Y EL DIÁMETRO DE LA  
BOQUILLA DEL EXTRUSOR EN LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO  
QUÍMICAS Y FUNCIONALES DEL PRODUCTO TERMINADO”**

**Instrucciones:** Observe y luego pruebe cuidadosamente cada una de las muestras y marque con una (X) en el casillero que considere adecuada la respuesta.

	CARACTERÍSTICAS		TRATAMIENTOS					
			A1B1	A1B2	A2B1	A2B2	A3B1	A3B2
			T1	T2	T3	T4	T5	T6
COLOR	5	Muy Claro						
	4	Claro						
	3	Normal						
	2	Oscuro						
	1	Muy oscuro						
OLOR	5	Muy Agradable						
	4	Poco Agradable						
	3	Característico						
	2	Desagradable						
	1	Muy Desagradable						
TEXTURA	5	Muy duro						
	4	Duro						
	3	Normal						
	2	Suave						
	1	Muy suave						
SABOR	5	Excelente						
	4	Muy bueno						
	3	Bueno						
	2	Regular						
	1	Malo						
ACEPTABILIDAD	5	Gusto Mucho						
	4	Gusto Poco						
	3	Ni gusta Ni disgusta						
	2	Disgusta Poco						
	1	Disgusta Mucho						

Observaciones:

.....  
.....

**ANEXO 3. SECCIÓN NORMA TECNICA COLOMBIANA PARA EXTRUIDOS EXPANDIDOS A BASE DE CEREALES (NTC, 3652 - 1996).**

---

**ANEXO 8. Norma técnica colombiana para extruidos expandidos a base de cereales (NTC, 3652 - 1996)**

**Requisitos para extruidos expandidos a base de cereales.**

Requisito	Unidad	Valor
Humedad (máximo)	%	4
Proteína (Nx6.25), (mínimo)	%	3
Grasa (máximo)	%	50
Carbohidratos (máximo)	%	95

**Requisitos Microbiológicos para extruidos expandidos a base de cereales.**

Requisito	Unidad	N	C	M	M
Recuento Aerobios Mesófilos	UFC/g	3	1	5000	10000
Recuento Coliformes	NMP/g	3	1	3	11
Recuento de mohos y levaduras	UFC/g	3	1	200	300

## **ANEXO 4. DETERMINACIÓN DE AMILOSA Y AMILOPECTINA.**

### **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.

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

## ANEXO 5. DETERMINACIÓN DE ÍNDICE DE SOLUBILIDAD EN AGUA (ISA) E INDICE DE ABSORCION EN 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:

$$IAA = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)}} \times 100$$

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

**ANEXO 6. DIFERENCIA MÍNIMA SIGNIFICATIVA (DMS) DE LOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS.**

➤ **Contenido de proteína**

Diferencia media significativa del factor **A**

<b>Factor</b>	<b>Media</b>	<b>Rango</b>
A1	8,33	a
A2	8,32	a
A3	8,27	b

➤ **Contenido de fibra**

Diferencia media significativa del factor **A**

<b>Factor</b>	<b>Media</b>	<b>Rango</b>
A1	0,13	a
A2	0,12	ab
A3	0,11	b

Diferencia media significativa del factor **B**

<b>Factor</b>	<b>Media</b>	<b>Rango</b>
B1	0,13	a
B2	0,12	b

➤ **Contenido de lípidos**

Diferencia media significativa del factor **A**

<b>Factor</b>	<b>Media</b>	<b>Rango</b>
A3	0,49	a
A2	0,54	b
A1	0,57	c



**ANEXO 7. DIFERENCIA MÍNIMA SIGNIFICATIVA (DMS) DE LOS ANÁLISIS FUNCIONALES.**

➤ **Índice de expansión**

Diferencia media significativa del factor **A**

<b>Factor</b>	<b>Media</b>	<b>Rango</b>
A1	4,58	a
A2	4,26	b
A3	3,97	c

Diferencia media significativa del factor **B**

<b>Factor</b>	<b>Media</b>	<b>Rango</b>
B1	5,32	a
B2	3,21	b

➤ **Densidad aparente**

Diferencia media significativa del factor **A**

<b>Factor</b>	<b>Media</b>	<b>Rango</b>
A1	0,07	a
A2	0,16	b
A3	0,22	c

Diferencia media significativa del factor **B**

<b>Factor</b>	<b>Media</b>	<b>Rango</b>
B1	0,14	a
B2	0,16	b

➤ **Índice de solubilidad de agua**

Diferencia media significativa del factor **B**

<b>Factor</b>	<b>Media</b>	<b>Rango</b>
B1	13,77	a
B2	12,66	b

➤ **Índice de absorción de agua**

Diferencia media significativa del factor **A**

<b>Factor</b>	<b>Media</b>	<b>Rango</b>
A1	6,22	a
A2	6,00	a
A3	5,30	b

**ANEXO 8.** Análisis de diferencia media significativa para textura instrumental.

➤ **Fuerza de punción**

➤ Diferencia media significativa del factor **A**

<b>Factor</b>	<b>Media</b>	<b>Rango</b>
A3	3,60	a
A2	6,14	b
A1	7,95	c

➤ Diferencia media significativa del factor **B**

<b>Factor</b>	<b>Media</b>	<b>Rango</b>
B1	5,62	a
B2	6,17	b

➤ **Fuerza por guillotina**

➤ Diferencia media significativa del factor **A**

<b>Factor</b>	<b>Media</b>	<b>Rango</b>
A3	9,98	a
A2	11,22	b
A1	13,46	c

➤ Diferencia media significativa del factor **B**

<b>Factor</b>	<b>Media</b>	<b>Rango</b>
B1	11,04	a
B2	12,07	b

## ANEXO 9. ANÁLISIS DE LAS MEZCLAS



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS



LABORATORIO DE NUTRICIÓN ANIMAL  
Teléfono: 2552 728 – 2528 704 Ext: 111

### REPORTE DE ANÁLISIS

**Propietario:** Gabriela Puma  
**Dirección:** Ibarra  
**Institución:** UTN  
**Muestra:** Mezcla maíz - mashua

**Nro. Ingreso:** 799-801  
**Nro. Reporte:** 0134  
**Fecha de Ingreso:** 2019-02-10  
**Fecha de Entrega:** 2019-02-21

### RESULTADOS ANALÍTICOS

Parámetro	Unidad	Identificación de muestra		
		Mezcla 1 95-5%	Mezcla 2 90-10%	Mezcla 3 85-15%
Humedad	%	10,8	10,5	10,0
Proteína bruta		8,92	8,87	8,83
Extracto etéreo		0,73	0,70	0,65
Fibra bruta		0,20	0,21	0,23
Ceniza		0,94	1,63	1,86
Extractos no nitrogenados*		79,3	78,7	78,5

Resultados reportados en base seca

\*Valor obtenido mediante cálculo



  
Ing. Francisco Gutiérrez  
RESPONSABLE DEL LABORATORIO

  
Quím. Alim. Arnulfo Portilla  
RESPONSABLE TÉCNICO

# ANEXO10. ANÁLISIS DE ALMIDON DE MASHUA



**INIAP**

**INSTITUTO NACIONAL AUTÓNOMO DE INVESTIGACIONES AGROPECUARIAS**  
**ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA**  
**DEPARTAMENTO DE NUTRICION Y CALIDAD**  
**LABORATORIO DE SERVICIO DE ANALISIS E INVESTIGACION EN ALIMENTOS**  
 Panamericana Sur Km. 1, CutuglaguatiFs. 2690691-3007134. Fax.3007134  
 Casilla postal 17-01-340



**LSAIA/INCI/EECS**

**INFORME DE ENSAYO No: 17-076**

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

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

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

**RESPONSABLES DEL INFORME**



*(Signature)*  
**Dr. MSc. Iván Samaniego**  
**RESPONSABLE TECNICO**

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

## ANEXO 11. ANÁLISIS PROXIMAL DEL PRODUCTO EXTRUIDO



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS



LABORATORIO DE NUTRICIÓN ANIMAL  
Teléfono: 2552 728 – 2528 704 Ext: 111

### REPORTE DE ANÁLISIS

**Propietario:** Gabriela Puma  
**Remitente:**  
**Dirección:** Ibarra  
**Institución:** UTN  
**Muestra:** Galleta

**Nro. Ingreso:** 539-541  
**Nro. Reporte:** 0096  
**Fecha de Ingreso:** 2017-06-12  
**Fecha de Entrega:** 2017-07-21

### RESULTADOS ANALÍTICOS

Parámetro	Unidad	Identificación de muestra		
		A1B1 I	A1B1 II	A1B1 III
Humedad	%	5,96	5,22	5,30
Proteína	%	8,30	8,35	8,38
Extracto etéreo	%	0,59	0,56	0,62
Fibra bruta	%	0,10	0,11	0,13
Ceniza	%	1,38	1,22	1,19
Extractos no nitrogenados*	%	89,30	88,70	89,08
Energía*	kcal/100g	398,3	398,4	399,9

Resultados reportados en base a materia seca  
\*Valor obtenido mediante cálculo

  
Ing. Francisco Gutiérrez  
RESPONSABLE DEL LABORATORIO



  
Quím. Alim. Arnulfo Portilla  
RESPONSABLE TÉCNICO



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS



LABORATORIO DE NUTRICIÓN ANIMAL  
Teléfono: 2552 728 – 2528 704 Ext: 111

**REPORTE DE ANÁLISIS**

**Propietario:** Gabriela Puma

**Nro. Ingreso:** 542-544

**Remitente:**

**Nro. Reporte:** 0096

**Dirección:** Ibarra

**Fecha de Ingreso:** 2017-06-12

**Institución:** UTN

**Fecha de Entrega:** 2017-07-21

**Muestra:** Galleta

**RESULTADOS ANALÍTICOS**

Parámetro	Unidad	Identificación de muestra		
		A2B1 I	A2B1 II	A2B1 III
Humedad	%	5,96	5,22	5,30
Proteína	%	8,30	8,33	8,35
Extracto etéreo	%	0,56	0,54	0,57
Fibra bruta	%	0,10	0,11	0,10
Ceniza	%	1,14	0,92	1,32
Extractos no nitrogenados*	%	88,92	89,10	89,03
Energía*	kcal/100g	399,3	399,9	398,7

Resultados reportados en base a materia seca

\*Valor obtenido mediante cálculo

Ing. Francisco Gutierrez  
RESPONSABLE DEL LABORATORIO



Quím. Alim. Arnulfo Portilla  
RESPONSABLE TÉCNICO





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS



LABORATORIO DE NUTRICIÓN ANIMAL  
Teléfono: 2552 728 – 2528 704 Ext: 111

**REPORTE DE ANÁLISIS**

<b>Propietario:</b> Gabriela Puma	<b>Nro. Ingreso:</b> 545-547
<b>Remitente:</b>	<b>Nro. Reporte:</b> 0096
<b>Dirección:</b> Ibarra	<b>Fecha de Ingreso:</b> 2017-06-12
<b>Institución:</b> UTN	<b>Fecha de Entrega:</b> 2017-07-21
<b>Muestra:</b> Galleta	

**RESULTADOS ANALÍTICOS**

Parámetro	Unidad	Identificación de muestra		
		A3B1 I	A3B1 II	A3B1 III
Humedad	%	5,70	5,20	5,30
Proteína	%	8,25	8,27	8,25
Extracto etéreo	%	0,50	0,48	0,47
Fibra bruta	%	0,10	0,10	0,10
Ceniza	%	1,26	1,28	1,31
Extractos no nitrogenados*	%	89,01	89,11	89,08
Energía*	kcal/100g	397,0	397,2	397,4

Resultados reportados en base a materia seca

\*Valor obtenido mediante cálculo

Ing. Francisco Gutiérrez  
**RESPONSABLE DEL LABORATORIO**



Quím. Alim/ Arnulfo Portilla  
**RESPONSABLE TÉCNICO**



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS



LABORATORIO DE NUTRICIÓN ANIMAL  
Teléfono: 2552 728 – 2528 704 Ext: 111

**REPORTE DE ANÁLISIS**

Propietario: Gabriela Puma  
Remitente:  
Dirección: Ibarra  
Institución: UTN  
Muestra: Galleta

Nro. Ingreso: 548-550  
Nro. Reporte: 0096  
Fecha de Ingreso: 2017-06-12  
Fecha de Entrega: 2017-07-21

**RESULTADOS ANALÍTICOS**

Parámetro	Unidad	Identificación de muestra		
		A1B2 I	A1B2 II	A1B2 III
Humedad	%	5,94	5,25	5,38
Proteína	%	8,30	8,36	8,34
Extracto etéreo	%	0,54	0,52	0,53
Fibra bruta	%	0,11	0,11	0,10
Ceniza	%	0,92	0,99	0,86
Extractos no nitrogenados*	%	88,99	89,12	89,10
Energía*	kcal/100g	400,0	400,1	401,0

Resultados reportados en base a materia seca  
\*Valor obtenido mediante cálculo

Ing. Francisco Gutiérrez  
RESPONSABLE DEL LABORATORIO



Quím. Alim. Arnulfo Portilla  
RESPONSABLE TÉCNICO





UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS



LABORATORIO DE NUTRICIÓN ANIMAL  
Teléfono: 2552 728 – 2528 704 Ext: 111

**REPORTE DE ANÁLISIS**

**Propietario:** Gabriela Puma

**Nro. Ingreso:** 551-553

**Remitente:**

**Nro. Reporte:** 0096

**Dirección:** Ibarra

**Fecha de Ingreso:** 2017-06-12

**Institución:** UTN

**Fecha de Entrega:** 2017-07-21

**Muestra:** Galleta

**RESULTADOS ANALÍTICOS**

Parámetro	Unidad	Identificación de muestra		
		A2B2 I	A2B2 II	A2B2 III
Humedad	%	5,94	5,25	5,33
Proteína	%	8,32	8,31	8,33
Extracto etéreo	%	0,55	0,54	0,57
Fibra bruta	%	0,10	0,11	0,11
Ceniza	%	0,94	0,95	0,90
Extractos no nitrogenados*	%	88,88	89,00	89,02
Energía*	kcal/100g	398,2	398,4	399,4

Resultados reportados en base a materia seca

\*Valor obtenido mediante cálculo

  
Ing. Francisco Gutiérrez  
RESPONSABLE DEL LABORATORIO



  
Quím. Alim. Arnulfo Portilla  
RESPONSABLE TÉCNICO



UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS



LABORATORIO DE NUTRICIÓN ANIMAL  
Teléfono: 2552 728 – 2528 704 Ext: 111

**REPORTE DE ANÁLISIS**

**Propietario:** Gabriela Puma

**Nro. Ingreso:** 554-556

**Remitente:**

**Nro. Reporte:** 0096

**Dirección:** Ibarra

**Fecha de Ingreso:** 2017-06-12

**Institución:** UTN

**Fecha de Entrega:** 2017-07-21

**Muestra:** Galleta

**RESULTADOS ANALÍTICOS**

Parámetro	Unidad	Identificación de muestra		
		A3B2 I	A3B2 II	A3B2 III
Humedad	%	5,46	5,10	5,60
Proteína	%	8,27	8,28	8,27
Extracto etéreo	%	0,51	0,49	0,49
Fibra bruta	%	0,10	0,10	0,10
Ceniza	%	0,94	0,99	0,89
Extractos no nitrogenados*	%	89,05	89,15	89,11
Energía*	kcal/100g	399,9	399,0	400,8

Resultados reportados en base a materia seca

\*Valor obtenido mediante cálculo


Ing. Francisco Gutiérrez  
RESPONSABLE DEL LABORATORIO



Quím. Afim. Arnulfo Portilla  
RESPONSABLE TÉCNICO

## ANEXO 12. ANÁLISIS FUNCIONAL DEL PRODUCTO EXTRUIDO

<b>NOMBRE PETICIONARIO:</b> Gabriela Puma				
<b>DIRECCIÓN:</b> Ibarra.				
<b>FECHA DE EMISIÓN:</b> 02/18/2019				
<b>ANÁLISIS SOLICITADO:</b> Propiedades funcionales del extruido				
Tratamientos	Descripción	Resultados		
		Unid	Índice de absorción de agua	Índice de solubilidad de agua
T1	85% maíz y 15% zanahoria blanca + 3 mm Ø de la boquilla	%	5,39	13,15
T2	85% maíz y 15% zanahoria blanca + 5 mm Ø de la boquilla	%	5,20	11,84
T3	90% maíz y 10% zanahoria blanca + 3 mm Ø de la boquilla	%	5,71	14,00
T4	90% maíz y 10% zanahoria blanca + 5 mm Ø de la boquilla	%	6,30	12,91
T5	95% maíz y 5% zanahoria blanca + 3 mm Ø de la boquilla	%	6,27	14,10
T6	95% maíz y 5% zanahoria blanca + 5 mm Ø de la boquilla	%	6,16	13,23

  
**Ing. Elena Villacrés**  
 RESPONSABLE TÉCNICO

## ANEXO 13. ANÁLISIS DE TEXTURA 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*

<b>NOMBRE PETICIONARIO:</b> Srta. Gabriela Puma
<b>DIRECCIÓN:</b> 6 de diciembre 1 53 y 4 de junio
<b>FECHA DE EMISIÓN:</b> 12 junio del 2018
<b>ANÁLISIS SOLICITADO:</b> Análisis de fuerza de punción y guillotina

#### Fuerza de punción

Tratamientos	Repeticiones									
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
A1B1	6,6	7,55	7,92	7,93	7,79	7,29	6,72	7,22	7,13	7,14
A1B2	7,76	8,76	9,79	9,56	8,73	8	8,43	7,78	8,23	8,57
A2B1	5,83	7	5,92	7,88	7,72	6,56	7,12	6,6	5,85	5,88
A2B2	6,73	4,98	5,3	5,77	6,13	5,41	5,46	4,82	5,19	6,57
A3B1	2,04	2,26	2,42	2,32	3,88	3,14	2,78	2,95	4,09	3,06
A3B2	3,8	4,58	4,75	5,85	5,12	3,61	5,28	2,75	3,74	3,65

#### Fuerza de guillotina

Tratamientos	Repeticiones									
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
A1B1	12,59	12,13	13,93	12,5	13,08	12,8	13,19	14,94	12,32	12,86
A1B2	12,99	13,54	14,79	13,91	13,73	14,02	14,93	14,79	12,79	13,27
A2B1	10,77	10,24	10,62	12,68	11,44	10,93	10,49	11,69	10,23	10,82
A2B2	10,83	11,89	11,85	12,98	10,85	10,9	10,36	12,19	10,83	11,89
A3B1	8,56	8,36	9,52	8,67	9,46	8,97	8,99	10,31	9,02	9,11
A3B2	10,53	11,92	10,04	11,71	11	11,2	10,68	10,71	10,42	10,46

Atentamente

Bioq. José Luis Moreno

TECNICO DE LABORATORIO



Av. 17 de Julio S-21 y José María  
Córdova. Barrio El Olivo.  
Teléfono: (08)2997800  
Fax: Ext: 7711.  
Email: utn@utn.edu.ec  
www.utn.edu.ec  
Ibarra - Ecuador

#### 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.