



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

### CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

#### EFECTO DE LOS PARÁMETROS DE EXTRUSIÓN SOBRE LA CALIDAD NUTRICIONAL Y TEXTURA EN LA MEZCLA DE MAÍZ *Zea mays*, CHOCHO *Lupinus mutabilis Sweet* Y PAPA *Solanum tuberosum* EN EL SNACK

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

**Autor:** Richard Mauricio Taimal Quelal

**Director:** Ing. Luis Armando Manosalvas Quiroz, MSc.

Ibarra – Ecuador

2019



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y  
AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

EFFECTO DE LOS PARÁMETROS DE EXTRUSIÓN SOBRE LA  
CALIDAD NUTRICIONAL Y TEXTURA EN LA MEZCLA DE MAÍZ *Zea  
mays*, CHOCHO *Lupinus mutabilis Sweet* Y PAPA *Solanum tuberosum* EN  
EL SNACK

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

**INGENIERO AGROINDUSTRIAL**

**APROBADA:**

Ing. Luis Manosalvas, MSc.

**DIRECTOR DE TESIS**

FIRMA

Ing. Rosario Espín, MSc.

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

FIRMA

Ing. Ángel Satama, MSc.

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

FIRMA

Ing. Marco Lara, MSc.

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

FIRMA



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**  
**BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**  
**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE**  
**LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

**1.- IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA:**

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

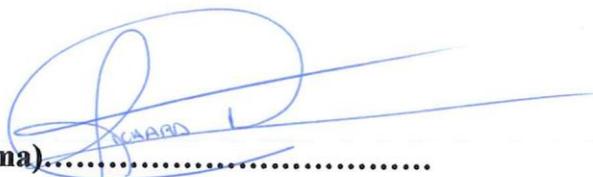
<b>DATOS DE CONTACTO</b>	
<b>CÉDULA DE IDENTIDAD:</b>	040182943- 7
<b>APELLIDOS Y NOMBRES:</b>	TAIMAL QUELAL RICHARD MAURICIO
<b>DIRECCIÓN:</b>	CARCHI – CANTÓN ESPEJO – PARROQUIA LA LIBERTAD
<b>E-MAIL:</b>	rtaimalquelal@yahoo.es
<b>TELÉFONO MÓVIL:</b>	0986655897
<b>DATOS DE LA OBRA</b>	
<b>TÍTULO:</b>	“EFECTO DE LOS PARÁMETROS DE EXTRUSIÓN SOBRE LA CALIDAD NUTRICIONAL Y TEXTURA EN LA MEZCLA DE MAÍZ <i>Zea mays</i> , CHOCHO <i>Lupinus mutabilis Sweet</i> Y PAPA <i>Solanum tuberosum</i> EN EL SNACK”
<b>AUTOR:</b>	TAIMAL QUELAL RICHARD MAURICIO
<b>FECHA:</b>	22 DE NOVIEMBRE DE 2019
<b>SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO</b>	
<b>PROGRAMA:</b>	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
<b>TÍTULO POR EL QUE OPTA:</b>	INGENIERO AGROINDUSTRIAL
<b>ASESOR/DIRECTOR:</b>	ING. LUIS MANOSALVAS, MSc

## 2.- CONSTANCIAS

El autor 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, a los 22 días del mes de noviembre del 2019

### EL AUTOR:

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized loop followed by a horizontal line extending to the right. The signature is written over a dotted line.

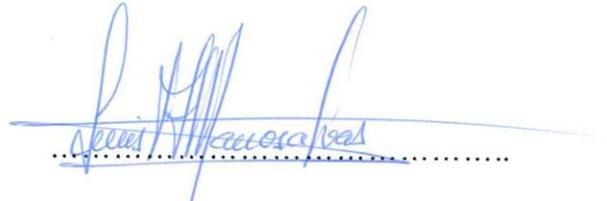
(Firma).....

**Nombre:** Richard Mauricio Taimal Quelal

**C.C:** 040182943-7

## CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el Sr. Richard Mauricio Taimal Quelal, con cédula de ciudadanía 040182943-7 bajo mi supervisión.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Luis Manosalvas', is written over a solid blue horizontal line. Below the solid line is a dotted blue horizontal line.

Ing. Luis Manosalvas, MSc  
**DIRECTOR DE TESIS**



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

Yo, **Richard Mauricio Taimal Quelal** con cédula de identidad Nro. **040182943-7**; manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominado **“EFECTO DE LOS PARÁMETROS DE EXTRUSIÓN SOBRE LA CALIDAD NUTRICIONAL Y TEXTURA EN LA MEZCLA DE MAÍZ *Zea mays*, CHOCHO *Lupinus mutabilis Sweet* Y PAPA *Solanum tuberosum* EN EL SNACK”**, que ha sido desarrollado para optar por el título de: **Ingeniero Agroindustrial** en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 22 días del mes de noviembre del 2019

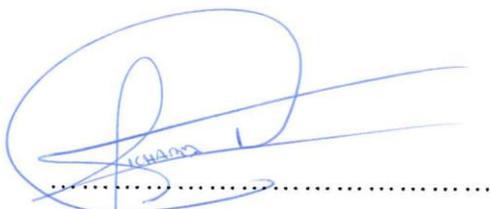
Richard Mauricio Taimal Quelal

C.C: 040182943-7

## DECLARACIÓN

Manifiesto que la siguiente obra es original y se la desarrollo, sin violar derechos de autor de terceros, por tanto, 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 22 días del mes de noviembre del 2019



Richard Mauricio Taimal Quelal

C.C: 040182943-7

## **AGRADECIMIENTO**

*No fue fácil escribir el libro de mi vida hasta la culminación de esta etapa. Por este motivo, quiero agradecer a todas las personas que creyeron en mí, apoyaron mis sueños e hicieron lo posible para que este día haya llegado.*

*En primer lugar, a quien forja mi camino, mi carácter y me ha permitido terminar este proyecto tan anhelado para mí, a ti Dios.*

*A mi madre Edilma Quelal, no solo por darme la vida sino por su valentía de haber asumido con coraje y valentía, sola, los dos papeles pilares de una familia, de padre y madre. Además, por enseñarme a no decaer nunca ante los problemas, a ser mejor cada día y a crecer como ser humano con excelentes valores y principios.*

*A mi esposa Erika González y a mi hijo Leonel, quienes se convirtieron en el motor de mi vida y lucharon conmigo para lograr este objetivo.*

*A mis suegros Narcisa M y Mauricio G, de manera especial este último y sus papas Rosa C y Bertulfo G, quienes desde primera instancia me brindaron su confianza, apoyo y cariño.*

*A mis abuelitos Hugo Q y Dolores T, a mis tías Germania, Elsa, Aura, Odila y Edith, quienes me brindan su cariño y apoyo incondicional.*

*A los docentes de la Carrera de Ingeniería Agroindustrial, en especial a los Ingenieros Luis Manosalvas y Rosario Espín, por su amistad y apoyo brindado durante el desarrollo de esta investigación y mi formación profesional.*

*A todas y todos quienes me brindaron su apoyo durante mi formación profesional y no fueron nombrados, muchas gracias.*

**Richard Taimal**

## **DEDICATORIA**

*A Dios, por estar conmigo siempre y por la sencilla razón de ser el dueño de mi vida.*

*A mi esposa Erika G y mi hijo Leonel, por su amor, esfuerzo y comprensión, este logro es suyo también.*

*A mi madre Edilma Q, por su apoyo durante toda mi vida y sus deseos de verme siempre mejor.*

*A mis herman@s Gabriel, Alexis y Melany, por su cariño brindado y para que este logro sirva de impulso y ejemplo para su futura formación profesional.*

***Richard Taimal***

# ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS .....	xii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiv
RESUMEN.....	xvi
SUMMARY .....	xvii
CAPÍTULO I.....	18
INTRODUCCIÓN .....	18
1.1 Problema.....	18
1.2 Justificación.....	20
1.3 Objetivos .....	21
1.4 Hipótesis.....	21
CAPÍTULO II .....	22
MARCO TEÓRICO.....	22
2.1 Maíz.....	22
2.1.1 Taxonomía del maíz.....	22
2.1.2 Producción nacional de maíz .....	23
2.1.3 Composición nutricional del maíz duro.....	23
2.2 Chocho.....	24
2.2.1 Taxonomía del chocho.....	25
2.2.2 Producción nacional de chocho .....	25
2.2.3 Composición nutricional del chocho .....	26
2.3 Papa .....	28
2.3.1 Taxonomía de la papa .....	28

2.3.2 Producción nacional de papa .....	28
2.3.3 Composición nutricional de la papa.....	29
2.4 Requerimientos de aminoácidos esenciales del humano.....	31
2.5 El Snack.....	32
2.6 Extrusión .....	33
2.6.1 Ventajas y aplicaciones de la extrusión en alimentos.....	33
2.6.2 Componentes del extrusor .....	35
2.6.3 Tipos de extrusores .....	37
2.6.4 Descripción de la operación del extrusor de un tornillo .....	40
2.6.5 Factores que afectan al proceso de extrusión.....	41
2.6.6 Cambios nutricionales durante la extrusión.....	57
2.7 Parámetros de calidad del producto extruido .....	61
2.7.1 Propiedades físicas.....	61
2.7.2 Propiedades funcionales .....	63
2.7.3 Análisis de textura .....	65
CAPÍTULO III.....	72
MATERIALES Y MÉTODOS .....	72
3.1 Caracterización del área de estudio .....	72
3.2 Materiales y equipos.....	72
3. 2.1 Materias primas: .....	72
3. 2. 2 Equipos .....	72
3.2.3 Materiales.....	73
3.3 Métodos .....	74
3.3.1 Factores en estudio.....	74
3.3.2 Tratamientos .....	75

3.3.3	Diseño experimental .....	75
3.3.4	Características del experimento .....	75
3.3.5	Análisis estadístico .....	76
3.4	Variables evaluadas .....	78
3.4.1	Propiedades fisico-químicas de las materias primas.....	78
3.4.2	Variables evaluadas al producto final .....	86
3.4.2	Análisis de evaluación sensorial de textura descriptiva.....	91
3.4.3	Análisis de aceptabilidad sensorial .....	91
3.5	Análisis específico del experimento .....	92
CAPÍTULO IV .....		96
RESULTADOS Y DISCUSIONES .....		96
4.1	Variables evaluadas en las materias primas .....	96
4.1.1	Caracterización fisico-química de las materias primas.....	96
4.2	Variables evaluadas en el snack extruido .....	99
4.2.1	Variables físico químicas .....	99
4.2.2	Evaluación de propiedades funcionales en los productos extruidos...	126
4.2.3	Evaluación de textura en los productos extruidos .....	145
4.2.4	Análisis de aceptabilidad sensorial .....	156
4.2.5	Digestibilidad de la proteína y contenido de aminoácidos .....	160
4.2.6	Perfil de aminoácidos del tratamiento 6 .....	161
CAPÍTULO V .....		163
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		163
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		166
ANEXOS .....		173

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía del maíz.....	22
Tabla 2. Producción nacional de maíz duro en el año 2017.....	23
Tabla 3. Composición nutricional del maíz en base seca.....	24
Tabla 4. Contenido de aminoácidos esenciales en la proteína, base seca.....	24
Tabla 5. Taxonomía del chocho .....	25
Tabla 6. Producción nacional de chocho en el año 2010. ....	26
Tabla 7. Composición química del chocho en base seca. ....	27
Tabla 8. Contenido de aminoácidos esenciales en el chocho, base seca.....	27
Tabla 9. Producción nacional de papa en el año 2017 .....	29
Tabla 10. Composición nutricional de la papa variedad súper chola en base seca. .....	30
Tabla 11. Contenido de aminoácidos esenciales en la papa, base seca.....	31
Tabla 12. Requerimientos de Aminoácidos sugeridos por la FAO.....	32
Tabla 13. Características de los gránulos de almidón .....	49
Tabla 14. Definiciones y referencias para atributos sensoriales de los snacks extruidos.....	67
Tabla 15. Factores de estudio.....	74
Tabla 16. Nomenclatura de tratamientos .....	75
Tabla 17. Parámetros de funcionamiento del extrusor.....	76
Tabla 18. DCA $AxBxC+1$ .....	77
Tabla 19. Métodos aplicados en los grits (maíz, chocho y papa) .....	78
Tabla 20. Métodos de análisis físico-químico.....	86
Tabla 21. Métodos de análisis de propiedades funcionales .....	86
Tabla 22. Análisis de Textura Instrumental .....	90
Tabla 23. Composición nutricional del grits de (maíz, chocho y papa), en base seca.....	96
Tabla 24. Composición nutricional de las mezclas de grits, en base seca. ....	98
Tabla 25. Análisis de Varianza para las características Fisicoquímicas evaluadas del Snack Extruido .....	101

Tabla 26. Prueba de Diferencia Mínima Significativa para el factor A.....	116
Tabla 27. Prueba de Diferencia Mínima Significativa para el factor B.....	116
Tabla 28. Prueba de Diferencia Mínima Significativa para el factor C.....	117
Tabla 29. Valores de las características Físico Químicas correspondientes a los tratamientos del Snack Extruido con sus respectivos rangos Tukey.....	126
Tabla 30. Análisis de Varianza para las Variables Funcionales evaluadas.....	144
Tabla 31. Valores de las Propiedades Funcionales correspondientes a los tratamientos del Snack Extruido con sus respectivos rangos Tukey.....	145
Tabla 32. Análisis de Varianza de la textura descriptiva de los Snacks Extruidos .....	146
Tabla 33. Calificaciones de la textura descriptiva de los tratamientos con sus respectivos rangos Tukey.....	146
Tabla 34. Análisis de Varianza de la textura instrumental evaluada en el snack Extruido.....	150
Tabla 35. Textura instrumental de los tratamientos con sus respectivos rangos Tukey.....	151
Tabla 36. Coeficientes de correlación entre las mediciones de textura sensorial e instrumental de los snacks extruidos.....	152
Tabla 37. Componentes principales obtenidos con su respectiva variabilidad explicada .....	155
Tabla 38. Matriz de componente rotado para las variables de estudio .....	156
Tabla 39. Resultados de la Evaluación sensorial .....	157
Tabla 40. Análisis de la Digestibilidad de la Proteína de los snacks extruidos ..	160
Tabla 41. Perfil de aminoácidos del tratamiento T6 .....	162

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de un extrusor.....	35
Figura 2. Zonas operativas del extrusor de un tornillo.....	40
Figura 3. Tornillo de un extrusor .....	42
Figura 4. Gráfico simplificado de la acumulación de presión en un extrusor.....	45
Figura 5. Gráfica General del análisis del Perfil de Textura.....	68
Figura 6. Sondas de texturómetro. A) Sonda cilíndrica de aluminio (compresión); B) Cuchilla de corte con sonda de guillotina; C) Cuchilla de corte con sonda de forma en “V”; D) Sonda de aguja (punción).....	69
Figura 7. Dos tipos de pruebas de compresión: (a) la prueba de compresión uniaxial entre dos placas y (b) la prueba de compresión confinada o de extrusión simple .....	70
Figura 8. Caracterización del barril.....	76
Figura 9. Caracterización del tornillo .....	77
Figura 10. Humedad de los productos extruidos (%) con sus respectivos rangos Tukey.....	102
Figura 11. Interacción de Factores: AB, AC y BC en la variable Humedad. ....	104
Figura 12. Diagrama de Pareto para Humedad .....	105
Figura 13. Proteína de los productos extruidos (%) con sus respectivos rangos Tukey.....	106
Figura 14. Interacción de Factores: AB, AC y BC en la variable Proteína.....	108
Figura 15. Diagrama de Pareto para Proteína .....	109
Figura 16. Lípidos de los productos extruidos (%) con sus respectivos rangos Tukey.....	111
Figura 17. Interacción de Factores: AB, AC y BC en la variable Lípidos.....	112
Figura 18. Diagrama de Pareto para lípidos.....	114
Figura 19. Fibra de los productos extruidos (%) con sus respectivos rangos Tukey .....	115
Figura 20. Diagrama de Pareto para Fibra .....	117
Figura 21. Cenizas de los productos extruidos (%) con sus respectivos rangos Tukey.....	118
Figura 22. Interacción de Factores: AB y BC en la variable Cenizas.....	120

Figura 23. Diagrama de Pareto para Cenizas .....	121
Figura 24. Carbohidratos de los productos extruidos (%) con sus respectivos rangos Tukey .....	122
Figura 25. Interacción de Factores: AB, AC y BC en la variable Carbohidratos	123
Figura 26. Diagrama de Pareto para Carbohidratos .....	125
Figura 27. IAA de los productos extruidos con sus respectivos rangos Tukey ..	127
Figura 28. Interacción de Factores BC en la variable IAA. ....	129
Figura 29. Diagrama de Pareto para IAA.....	130
Figura 30. ISA de los productos extruidos (%) con sus respectivos rangos Tukey .....	131
Figura 31. Interacción de Factores BC en la variable ISA.....	132
Figura 32. Diagrama de Pareto para ISA .....	134
Figura 33. IE de los Productos Extruidos con sus respectivos rangos Tukey.....	135
Figura 34. Interacción de Factores: AB, AC y BC en la variable IE. ....	136
Figura 35. Diagrama de Pareto para IE.....	139
Figura 36. DA de los Productos Extruidos con sus respectivos rangos Tukey...	140
Figura 37. Interacción de Factores: AB, AC y BC en la variable DA. ....	141
Figura 38. Diagrama de Pareto para DA.....	143
Figura 39. Diagrama de dispersión bidimensional de los componentes principales .....	155
Figura 40. Puntuaciones de color de los snacks extruidos .....	157
Figura 41. Puntuaciones de olor de los snacks extruidos.....	158
Figura 42. Puntuaciones de la textura de los snacks extruidos .....	159
Figura 43. Puntuaciones de sabor de los snacks extruidos.....	159

## RESUMEN

La combinación de cereales, leguminosas y tubérculos permite obtener un alimento con mayor contenido nutricional y un mejor balance de aminoácidos para el ser humano. Por lo tanto, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar los efectos de las condiciones del proceso: temperatura (110°C – 140°C), humedad (15% - 20%) y formulación: maíz *Zea mays*, chocho *Lupinus mutabilis Sweet* y papa *Solanum tuberosum* en proporciones (p/p): 80/10/10 y 70/15/15 sobre las propiedades físico-químicas, funcionales y textura del snack extruido expandido. Los resultados obtenidos en las propiedades físico-químicas mostraron que los productos extruidos con mayor contenido nutricional fueron alcanzados a partir de las formulaciones: 70/15/15 acondicionadas a 15% de humedad y extruidas a 110°C, con valores de proteína (18.69%), fibra (2.28%) y ceniza (1.00%) con relación al testigo (100% maíz) que presentó contenidos de proteína (8.32%), fibra (0.64%) y ceniza (0.57%). Mientras, las propiedades funcionales en el testigo (100% maíz) y los extruidos de las mezclas: 80/10/10, presentaron valores superiores de índice de expansión y bajos niveles de densidad aparente, debido al tipo de almidón del maíz, chocho y papa. Asimismo, el contenido de humedad de la formulación del 15% y temperatura de extrusión 140 °C provocó un bajo índice de absorción de agua de 4.34 g gel/g muestra y mayor índice de solubilidad de agua de 0.44%. Por otra parte, el análisis de correlación de Pearson y Componentes Principales de la textura sensorial descriptiva y la textura instrumental, determinó que los atributos dureza, crujencia y resistencia a la ruptura se correlacionan significativamente con las pruebas de corte y punción, respectivamente. La incorporación de leguminosas y tubérculos a formulaciones con maíz mejoró significativamente el contenido y calidad nutricional del snack.

## SUMMARY

The combination of cereals, legumes and tubers allows to obtain a food with higher nutritional content and a better balance of amino acids for humans. Therefore, the objective of this study was to evaluate the effects of the process conditions: temperature (110°C - 140°C), humidity (15% - 20%) and the mixture formulation: corn *Zea mays*, lupino *Lupinus mutabilis Sweet* and potato *Solanum tuberosum* in proportions (p/p): 80/10/10 y 70/15/15 on the nutritional, functional and texture properties of the expanded extruded snack. The results obtained in the physicochemical properties showed that extruded products with higher nutritional content were obtained from mixtures: 70/15/15 conditioned to 15% of humidity and processed to 110°C, with protein values (18.69%), fiber (2.28%) and ash (1.00%) compared to the witness (100% corn) that presented protein contents (8.32%), fiber (0.64%) and ash (0.57%). While, the functional properties, the control (100% corn) and the resulting treatments of mixtures: 80/10/10, its produced extruded snacks with higher values of expansion index and low apparent density levels, due to the quality of corn, lupine and potato starch. In addition, the low moisture content of the mixture (15%) and the high extrusion temperature (140 °C) caused a low water absorption index of 4.34 g gel/g sample and a higher water solubility index of 0.44%. On the other hand, the Pearson and Main Components correlation analysis of the descriptive sensory texture and instrumental texture, determined that the hardness, crunch and breaking resistance attributes correlate significantly with the cutting and puncture tests, respectively. The incorporation of legumes and tubers into corn formulations significantly improved the nutritional content and quality of the snack.

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1 PROBLEMA**

Los snacks extruidos expandidos son parte de la alimentación de la población de hoy en día especialmente de niños y adolescentes, al ser alimentos cuya característica principal es su conveniencia al consumo, influenciado por varios factores, como: disponibilidad, precio, estabilidad y presentación del producto en el mercado y por ello han alcanzado una gran aceptabilidad del consumidor. Sin embargo, se los ha denominado como alimentos chatarra debido al bajo contenido nutricional, especialmente proteico.

Asimismo, los snacks extruidos pertenecen a la categoría de productos altamente procesados, elaborados a base de cereales ricos en almidón, especialmente de maíz duro. Por lo tanto, resultando ser un producto con bajo valor nutricional; siendo catalogados como posibles responsables de las enfermedades carenciales crónicas, como son: diabetes mellitus tipo 2 y la obesidad, según la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición en los años 2012-2014 en el Ecuador (Freire, 2014).

Esta problemática se debe en gran parte a la escasa investigación en desarrollo e innovación de snacks expandidos con mayor valor nutricional. A la vez conlleva al bajo aprovechamiento de una amplia gama de productos agrícolas como son: raíces, tubérculos y leguminosas. Bonilla (2016) manifiesta que la Zona 1 de Planificación suministra 10 de los 15 productos alimenticios de la canasta básica, donde Carchi e

Imbabura son productores de tubérculos, verduras, leguminosas, carne, lácteos y huevos.

Entre las leguminosas y tubérculos de mayor importancia nutricional, productiva y económica en el sector agrícola de las provincias de Imbabura y Carchi se encuentran el chocho *Lupinus mutabilis Sweet* y las papas *Solanum tuberosum* respectivamente, mismos que sufren inestabilidad en sus precios, con mayor incidencia en la producción de papas, con precios muy bajos que incluso no cubren los costos de producción.

Además, el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca [MAGAP] (2014), manifiesta que la producción de papa en el Ecuador involucra a más de 250000 personas, quienes dependen de manera directamente e indirecta de este tubérculo para su subsistencia. En términos de generación de empleo, este cultivo emplea 6,5 millones de jornales al año. Este problema se genera por diferentes factores y uno de los más importantes es la escasa demanda industrial de este producto en el Ecuador.

## 1.2 JUSTIFICACIÓN

El chocho *Lupinus mutabilis Sweet* y la papa *Solanum tuberosum* son cultivos de gran trascendencia e importancia en la alimentación de las comunidades andinas, siendo fuentes de proteínas e hidratos de carbono, respectivamente. Los alimentos desarrollados a partir cereales son alimentos de bajo nivel proteico, Valdivieso (2010) manifiesta que el limitante nutricional de los cereales es su déficit en ciertos aminoácidos esenciales por lo que recomienda la combinación de cereales y leguminosas para complementar el contenido de aminoácidos y aumentar la calidad proteica. Además, la inclusión de tubérculos mejora las características nutricionales de los alimentos al poseer características antioxidantes y contenido de proteína de valor biológico superior a la de los cereales por su contenido en lisina, aminoácido limitante en los cereales.

La salud y nutrición son el campo más exigente en la actualidad y seguirán siendo en el futuro. Mantener y mejorar la calidad nutricional de los alimentos durante su transformación es el enfoque principal en la investigación de desarrollo de nuevos productos alimenticios. La utilización de nuevas tecnologías en el procesamiento de alimentos como la extrusión permite prevenir o reducir la destrucción de nutrientes en el alimento, debido a su característica de funcionamiento que involucra temperaturas altas en tiempos relativamente cortos (HTST). Según, Singh, Gamlath y Wakeling (2007) indican que, los productos extruidos presentan mayor valor de digestibilidad de la proteína que los productos no extruidos, debido a los cambios producidos en el extrusor como la desnaturalización de las proteínas, la gelatinización del almidón y la inactivación de factores anti nutricionales que deterioran la digestión.

El estudio del efecto de los parámetros de extrusión sobre los componentes nutricionales de la mezcla papa, chocho y maíz, permitirán a la industria de los snacks extruidos mejorar el contenido nutricional de sus productos, a la vez desarrollar un mayor potencial de mercado a estos productos agrícolas y por consiguiente un fortalecimiento y mejora en la economía de las familias dedicadas de manera directa o indirecta a esta actividad productiva de gran importancia en el país.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **Objetivo General**

Evaluar los efectos de los parámetros de extrusión sobre la calidad nutricional y textura en la mezcla de maíz, chocho y papa del producto terminado.

### **Objetivos Específicos**

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

## **1.4 HIPÓTESIS**

### **Hipótesis afirmativa**

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

### **Hipótesis negativa**

**Ho:** La mezcla de grits (maíz, chocho, papa) y los parámetros del proceso de extrusión no influyen sobre el contenido de nutrientes, calidad sensorial y propiedades físicas del producto extruido expandido.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1 MAÍZ

El maíz *Zea mays* es un cereal perteneciente a la familia de las gramíneas, considerado uno de los cultivos básicos más importantes y extendidos en el mundo, constituye una de las fuentes principales de alimento de millones de personas y animales. Además, gracias a su alto contenido de almidón es considerado el cereal con mayor potencial industrial, es materia prima en la elaboración de un sinnúmero de subproductos tales como: almidón, edulcorantes alimenticios, dextrinas, aceite y productos fermentados, como son: bebidas alcohólicas, alcohol industrial, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y biocombustible (Grande y Orozco, 2013).

##### 2.1.1 TAXONOMÍA DEL MAÍZ

**Tabla 1.** Taxonomía del maíz

<b>Clasificación Científica</b>	
Clase	Liliopsida
Subclase	Panicoideae
Orden	Poales
Familia	Poaceae
Género	<i>Zea</i>
Especie	<i>Mays</i>
Nombre científico	<i>Zea mays</i> L.
Nombre común	Maíz, morochillo, maíz duro amarillo

Fuente: (INIAP, 2011)

### 2.1.2 PRODUCCIÓN NACIONAL DE MAÍZ

En la actualidad, el maíz duro constituye uno de los productos agrícolas transitorios más importantes del Ecuador por su principal participación en la industria de piensos y balanceados y en la alimentación humana. En efecto, debido su amplia demanda agroindustrial este producto presenta un crecimiento tanto en superficie cultivada como en producción y rendimiento (Valdivieso, 2010).

Según el Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC) (2017), la distribución geográfica de la producción de maíz duro se concentra en la Costa con el 80% de la superficie, en la Sierra el 17% y en la Amazonía un 3%.

**Tabla 2.** Producción nacional de maíz duro en el año 2017

PROVINCIA	SUPERFICIE Sembrada (Has.)	PRODUCCIÓN (Tm.)	VENTAS (Tm.)
Los Ríos	140846	566043	560930
Manabí	96281	355230	341368
Guayas	70846	315390	309683
Loja	46993	123153	107670
Sucumbíos	7717	11238	9430
Imbabura	1435	2258	1638
Otras Provincias	24416	62795	55874
Total	388534	1436106	1386592

Fuente: (INEC, 2017)

### 2.1.3 COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DEL MAÍZ DURO

Es un cereal de mayor importancia en la nutrición de millones de personas, constituye la fuente de energía básica de los seres vivos debido a su contenido de hidratos de carbono conformados por almidón (amilosa (25-30%) y amilopectina (70-75%)) quien constituye hasta el 72-73 % del peso del grano de maíz y otros azúcares sencillos en forma de glucosa, sacarosa y fructosa, en cantidades que varían del 1 al 3% del grano. Asimismo, presenta una proteína de calidad inferior, debido a la baja concentración de aminoácidos esenciales como son: lisina e

isoleucina. Sin embargo, es rico en vitaminas del complejo B (B1 y B3) y minerales como el fósforo y magnesio (Sánchez, 2014).

**Tabla 3.** Composición nutricional del maíz en base seca.

<b>PARÁMETROS</b>	<b>(%)</b>
Almidón	75
Proteína	7,68
Fibra	2,46
Extracto Etéreo	5,00
Ceniza	1,65

Fuente: (Sánchez, 2014)

**Tabla 4.** Contenido de aminoácidos esenciales en la proteína, base seca.

<b>Aminoácidos Esenciales</b>	<b>g aminoácidos/100g proteína</b>
Arginina	4,20
Fenilalanina	4,70
Histidina	2,60
Isoleucina	4,00
Leucina	12,50
Lisina	2,90
Metionina	2,00
Treonina	3,80
Triptófano	0,70
Valina	5,00

Fuente: (Egoavil, 2011)

## **2.2 CHOCHO**

El chocho *Lupinus mutabilis Sweet* es una leguminosa andina relegada y marginada como alimento destinado a la población de bajos recursos económicos. No obstante, esta leguminosa despierta un gran interés agroindustrial por su composición nutricional alta en proteína (superior al 40%), aminoácidos y ácidos grasos esenciales, mismos que no pueden ser sintetizados por el organismo, lo cual la convierten en una buena alternativa de proteína vegetal. A pesar de su valor

nutricional no pueden ser consumidos directamente, requieren tratamientos previos de remojo de los granos debido a la presencia de alcaloides tipo quinolizidínicos, los cuales son de sabor amargo y tóxicos para el hombre y los animales (Chirinos-Arias, 2015).

### 2.2.1 TAXONOMÍA DEL CHOCHO

**Tabla 5.** Taxonomía del chocho

<b>Clasificación Científica</b>	
Clase	Dicotiledóneas
Subclase	Arquiclamídeas
Orden	Rosales
Familia	Leguminosas
Género	<i>Lupinus</i>
Especie	<i>Mutabilis</i>
Nombre científico	<i>Lupinus mutabilis</i> Sweet
Nombre común	Tarwi, chocho

Fuente: (INIAP, 2011)

### 2.2.2 PRODUCCIÓN NACIONAL DE CHOCHO

El chocho constituye una importante alternativa para la agricultura de los valles y laderas andinas ubicadas entre los 2200 y 3600 m.s.n.m. de altitud, debido a su capacidad de adaptación a suelos pobres en nutrientes y secos y a su resistencia a condiciones ambientales adversas (Chirinos-Arias, 2015). En el Ecuador la producción de este producto se encuentra concentrada en la Sierra, en las provincias de Cotopaxi, Chimborazo, Pichincha, Imbabura y Carchi, donde el 70% de la producción está en las dos primeras provincias citadas. La tabla 5 indica los valores de hectáreas de chocho cultivadas en el Ecuador.

**Tabla 6.** Producción nacional de chocho en el año 2010.

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

Fuente: (INEC, 2010)

### **2.2.3 COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DEL CHOCHO**

El chocho es una leguminosa de alto valor nutricional, por su alto contenido de proteína (40 a 51% en base seca) y aceite (18 a 22% en base seca), similar a la soya, se convierte en un producto de interés para la nutrición humana. Adicionalmente, el chocho es fuente de fibra, micronutrientes (vitaminas del grupo B y E y minerales como calcio, potasio, zinc, fósforo, magnesio y calcio), oligosacáridos complejos, ácidos grasos omega 3 (oleico (40,40%), linoleico (37,10%) y linolénico (2,90%)) y aminoácidos esenciales como lisina y leucina. Sin embargo, es bajo en aminoácidos azufrados, sobre todo en metionina, en contraste con las proteínas de los cereales. Por lo tanto, al mezclar chocho con algunos cereales, se logra un alimento que en cuestión de balance de aminoácidos, es casi ideal para el ser humano. (Villacrés, Rubio, Egas, y Gabriela, 2006).

**Tabla 7.** Composición química del chocho en base seca.

<b>PARÁMETROS</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>AMARGO</b>	<b>DESAMARGADO</b>
Humedad	%	10,13	77,05
Proteína	%	47,80	54,05
Cenizas	%	4,52	2,54
Grasa	%	18,90	21,22
Fibra	%	11,07	10,37
Extracto Libre de Nitrógeno	%	17,62	11,82
Alcaloides	%	3,26	0,03
Calcio	%	0,12	0,48
Fosforo	%	0,60	0,43
Magnesio	%	0,24	0,07
Potasio	%	1,22	0,02
Hierro	ppm	78,45	74,25
Manganeso	ppm	36,72	18,47
Zinc	ppm	42,84	63,21
Cobre	ppm	12,65	7,99

Fuente: (Allauca & Villacres, 2005)

**Tabla 8.** Contenido de aminoácidos esenciales en el chocho, base seca.

<b>Aminoácidos Esenciales</b>	<b>g aminoácidos/100g proteína</b>
Arginina	6,79
Fenilalanina	2,64
Histidina	1,86
Isoleucina	3,13
Leucina	5,13
Lisina	3,78
Metionina	0,54
Treonina	2,61
Triptófano	1,26
Valina	2,88

Fuente: (Egoavil, 2011)

## 2.3 PAPA

La papa *solanum tuberosum* es el cuarto cultivo más importante del mundo, después del arroz, el maíz y el trigo, que aporta la mayor cantidad de carbohidratos a la dieta de millones de personas en los países en desarrollo (Valdivieso, 2010). En la actualidad, constituye una de las fuentes vegetales más nutritivas, debido a su contenido de carbohidratos y proteínas superior a los cereales, raíces y otros tubérculos, como también, su contenido de compuestos fitoquímicos con capacidad antioxidante (Valdivieso, 2010).

### 2.3.1 TAXONOMÍA DE LA PAPA

Taxonómicamente la papa súper chola, según Bastidas (2013) (citado en Charro, 2015), pertenece a las siguientes categorías:

**Familia:** Solanaceae

**Género:** *Solanum*

**Subgénero:** Potatoe

**Sección:** Petota

**Serie:** Tuberosa

**Especie:** *Solanum Tuberosum*

**Subespecie:** Andígena

### 2.3.2 PRODUCCIÓN NACIONAL DE PAPA

La papa constituye uno de los productos agrícolas de mayor producción y consumo en el país. El 99,96 % de la producción se encuentra en la región Sierra, las provincias con mayor producción son Pichincha, Carchi y Tungurahua con una participación en la producción nacional de 27,00%, 25,82% y 13,87%, respectivamente (INEC, 2017).

**Tabla 9.** Producción nacional de papa en el año 2017

<b>PROVINCIA</b>	<b>SUPERFICIE Sembrada (Has.)</b>	<b>PRODUCCIÓN (Tm.)</b>	<b>VENTAS (Tm.)</b>
Carchi	5948	97389	90920
Imbabura	1380	10799	8857
Pichincha	5709	101865	96436
Cotopaxi	3838	39281	35275
Tungurahua	3464	52313	47469
Chimborazo	5426	47299	40535
Otras Provincias	6423	28298	24272
<b>Total</b>	<b>32188</b>	<b>377243</b>	<b>343765</b>

Fuente: (INEC, 2017)

Según el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), en el país existen alrededor de 570 variedades, entre papas nativas y mejoradas. Entre las principales variedades se encuentran: Gabriela, Esperanza, Roja, Fripapa, María, Uvilla, Leona Blanca, Cecilia, Chaucha, coneja negra, yana shungo, etc. Sin embargo, por su importancia comercial y sus características agronómicas y de calidad, la papa con mayor acogida es la súper chola (Mastrocola et al., 2016).

### **2.3.3 COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DE LA PAPA**

La papa es considerada una fuente importante de carbohidratos, vitaminas y minerales para el ser humano, debido a su alto consumo. Este tubérculo, rico en almidón y fibra dietaria posee un bajo contenido proteico, sin embargo su proteína es de alto valor biológico comparable al del huevo. Además, constituye una fuente rica de polifenoles, carotenoides y vitamina C, con mayor proporción en papas de color rojo, morado y amarillo. Cabe mencionar que los compuestos con actividad antioxidante ayudan a prevenir el cáncer, diabetes, enfermedades cardio y cerebrovasculares. En efecto, la papa contiene la mayoría de macro y micro nutrientes requeridos por el ser humano (Cuesta, 2012).

Por su parte, el almidón constituye la principal fuente de almacenamiento de energía de la papa. Generalmente, la papa presenta un contenido de almidón que oscila de 60 a 80% de su peso en base seca (Vargas, Martínez y Velezmoro, 2016), y un

elevado contenido de amilopectina de 80% en su composición (Valenzuela-Lagarda et al., 2017).

Además, es necesario destacar que el almidón de papa posee un alto poder de enlace con el agua (debido a la presencia de grupos fosfatos endógenos), baja temperatura de gelatinización, baja tendencia a la retrogradación y alta capacidad para formar geles, lo cual la convierte en una materia prima óptima para la industria de alimentos extruidos expandidos (Semeijn y Buwalda, 2018).

**Tabla 10.** Composición nutricional de la papa variedad súper chola en base seca.

PARÁMETROS	UNIDAD	%
Proteína	g	8,5
Fibra	g	2,5
Almidón	g	84,5
Potasio	mg	1731
Hierro	mg	4,2
Zinc	mg	0,8
Polifenoles	mg (ácido gálico)	71
Carotenos	ug ( $\beta$ -carotenos)	5,4
Vitamina C	mg	19,6

Fuente: (Villacrés & Quilca, 2009)

El contenido de proteína en base seca de la papa es similar al de los cereales pero superior a las demás raíces y tubérculos. Generalmente, la papa posee un 10% de proteína bruta y un 1,80 a 2,80% de proteína verdadera, misma que está formada por globulinas (60 a 70%) y glutelinas (20 a 40%). Adicionalmente, este tubérculo posee la mayoría de aminoácidos esenciales para el ser humano (Prada, 2012).

**Tabla 11.** Contenido de aminoácidos esenciales en la papa, base seca.

<b>Aminoácidos Esenciales</b>	<b>g aminoácidos/100g proteína</b>
Arginina	0,12
Fenilalanina	0,10
Histidina	0,04
Isoleucina	0,10
Leucina	0,14
Lisina	0,13
Metionina	0,03
Treonina	0,09
Triptófano	0,03
Valina	0,13

Fuente: (Álvarez, 2010)

## **2.4 REQUERIMIENTOS DE AMINOÁCIDOS ESENCIALES DEL HUMANO**

El ser humano requiere una ingesta diaria de nutrientes para el óptimo desarrollo de sus funciones tanto corporales como mentales. En particular, el requerimiento nutricional de proteínas diarias en niños de 1 a 17 años y adultos mayores de 18 años de edad son de 0,85-1,1 y 0,80 g proteína/kg peso corporal, respectivamente. La cual cubre la necesidad de nitrógeno en el organismo, que es de 75 mg de nitrógeno por kg de peso corporal (Hernández, 2004).

Con base a la anterior mención, la población ecuatoriana de mayor consumo de snacks extruidos se encuentra constituida por menores de 19 años, cuya población al encontrarse en etapa de desarrollo y crecimiento requiere nutrientes de alta calidad (Freire, 2014).

En la Tabla 12 se indica los requerimientos de aminoácidos del ser humano, de acuerdo a sus etapas de vida.

**Tabla 12.** Requerimientos de Aminoácidos sugeridos por la FAO.

AMINOÁCIDOS	Necesidades requeridas mg Aminoácidos/ g proteína		
	Preescolares (2 a 5 años)	Edad Escolar (10- 14 años)	Adultos
Histidina	19	-	16
Isoleucina	28	32	13
Leucina	66	47	19
Lisina	58	58	16
Metionina + cistina	25	28	17
Fenilalanina+ tirosina	63	47	19
Treonina	34	36	9
Triptófano	11	9	5
Valina	35	36	13
Total	339	293	127

Fuente: (Hernández, 2004)

No obstante, los snacks extruidos elaborados generalmente a base de maíz, contienen una proteína de calidad inferior, con bajos contenidos de lisina e isoleucina, aminoácidos esenciales para el ser humano. Por lo tanto, la incorporación de materias primas ricas en proteínas y dichos aminoácidos, como las leguminosas, aumentan el valor nutricional de los snacks extruidos (Majumdar y Singh, 2012).

## **2.5 EL SNACK**

Los snacks son alimentos que se consumen como comidas ligeras o como reemplazo parcial de una comida regular. Por otra parte, los snacks expandidos son productos inflados y crujientes obtenidos mediante la extrusión, elaborados a base de cereales ricos en almidón, especialmente de maíz, y recubiertos con colorantes, saborizantes y otros aditivos (Rehal, Kaur, Kaur, & Singh, 2017).

Estos productos son muy criticados por su bajo contenido nutricional, siendo perjudiciales cuando su consumo llega a reemplazar de forma regular la comida tradicional (Freire, 2014). Sin embargo, pueden ser mejorados nutricionalmente

mediante la adición de frutas, leguminosas, tubérculos y pseudocereales a la matriz alimentaria a base de maíz. Por lo tanto, pueden ser una fuente importante de proteína y energía para el mercado consumidor conformado principalmente por niños y jóvenes (Patil, Brennan, Mason, y Brennan, 2016).

## **2.6 EXTRUSIÓN**

Literalmente, la palabra extrusión proviene del latín *extrudere*, que significa la acción de expulsar. En ingeniería, es la operación de forzar a un material a expulsar hacia fuera de una abertura estrecha denominada dado. En definitiva, en la industria de alimentos, la extrusión se considera una tecnología de procesamiento continuo, que fuerza el paso de un material alimenticio a través de una abertura restringida con el fin de obtener productos con diferentes formas y texturas (Berk, 2018).

La extrusión no solo imparte al producto determinadas formas sino también, mediante la aplicación de calor (extrusión en caliente), los alimentos se someten a altas temperaturas y tiempos cortos (HTST) de procesamiento, que a su vez como consecuencia del proceso, soportan elevadas presiones y fuerzas de deformación, por lo tanto, los alimentos sufren una serie de cambios en la forma, estructura y composición nutricional (Steel et al., 2012).

Por lo tanto, la tecnología extrusión puede ser relacionada como un intercambiador de calor y/o con un reactor continuo de alta presión y temperatura, todo combinado en una sola pieza de equipo, que realiza una forma de cocción rápida, continua y homogénea, en la cual se involucra una serie de operaciones unitarias tales como: mezclado, amasado, cizallamiento, cocción, esterilización, fusión, texturización y deshidratación de los materiales alimenticios (Bouvier y Campanella, 2014).

### **2.6.1 VENTAJAS Y APLICACIONES DE LA EXTRUSIÓN EN ALIMENTOS**

Las principales ventajas de la extrusión de alimentos, Berk (2018) destacan las siguientes:

- Es un proceso continuo de un solo paso que involucra varias operaciones unitarias de manera simultánea en un equipo pequeño. Sin embargo, no excluye operaciones adicionales antes (formulación, acondicionamiento, modificación, limpieza, etc.) y después post-extrusión (secado, fritura y saborizado).
- Esteriliza el producto e inactiva toxinas resistentes al calor como las aflatoxinas. Por lo tanto, genera productos inocuos y con mayor tiempo de vida útil.
- La extrusora es una máquina relativamente compacta y requiere poco espacio en el área de producción.
- La extrusión es versatilidad. Una amplia gama de productos, muchos de los cuales no pueden producirse fácilmente por ningún otro proceso, es posible cambiando los ingredientes alimenticios y una ligera modificación en las condiciones de operación de la extrusora y los dados.
- El gasto energético de la extrusión en caliente es por lo general menor que el de los procesos alternativos, ya que la mayor parte de la energía (térmica y mecánica) se entrega al producto directamente y no a través de un medio intermedio.
- Es una tecnología de tiempos cortos de procesamiento, por consiguiente genera una productividad muy superior a otras tecnologías de cocción y formado.
- Produce la inactivación de enzimas indeseables y factores antinutricionales (inhibidores de tripsina, hemaglutininas, taninos y fitatos), consecuentemente aumenta el tiempo de vida útil del producto obtenido.
- Mejora la calidad nutricional en los alimentos producidos (mayor digestibilidad del almidón y las proteínas).
- Permite procesar materiales relativamente secos o húmedos y altamente viscosos.

Dentro del campo de aplicación de la extrusión de alimentos, se puede distinguir las siguientes áreas:

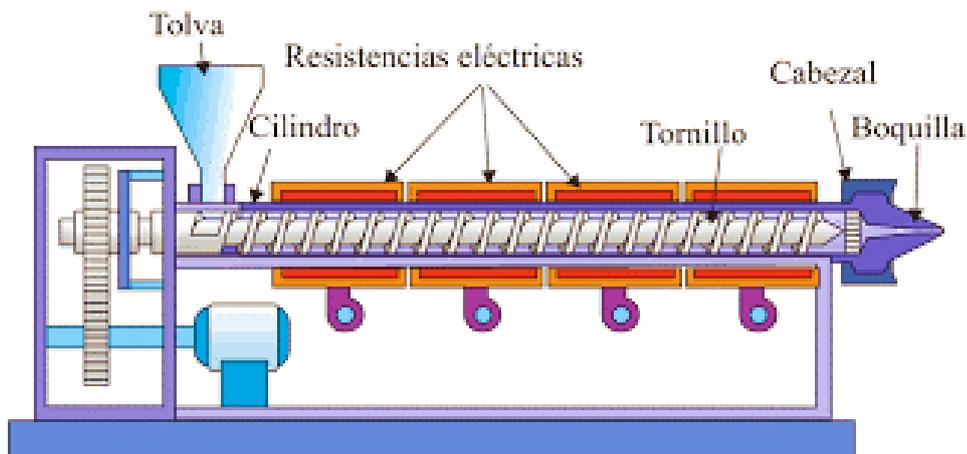
### ➤ Alimentos para consumo Humano

La extrusión es una tecnología versátil en el campo de los alimentos, particularmente se utiliza en la obtención de productos a partir de alimentos ricos en almidón y proteína. Algunos productos obtenidos por ésta tecnología son: pastas, snacks, cereales para desayuno, análogos de carne, entre otros (Justo y Pérez, 2006).

### ➤ Alimentos para consumo Animal

La extrusión ha sido utilizada en la fabricación de alimentos para animales a partir del año 1950. Hoy en día, se utiliza en la producción de alimentos expandidos semi-húmedos y secos, direccionados a la alimentación de mascotas, peces, vacunos de leche y carne, ya que el proceso de extrusión mejora la digestibilidad y la calidad nutricional de los materiales alimenticios (Karwe, 2009).

## 2.6.2 COMPONENTES DEL EXTRUSOR



**Figura 1.** Esquema de un extrusor

Fuente: (Beltrán y Marcilla, 2012)

Los extrusores se componen de cinco partes principales:

- **Sistema de alimentación:** El sistema de alimentación más habitual es una tolva, en la que el material a procesar se alimenta en forma de polvo o grits. Dicho componente garantiza una alimentación constante y no interrumpida de las materias primas en el extrusor, por tanto, permite un funcionamiento eficiente y uniforme del proceso de extrusión, que además permite obtener un producto con apariencia uniforme (Ramachandra y Thejaswini, 2015).

- **Tornillo:** En general, es el componente más importante del extrusor, no solo determina el grado de cocción, la gelatinización, la dextrinización del almidón y desnaturalización de las proteínas, sino también garantiza la calidad final del producto.

Por otra parte, los tornillos se encuentran compuestos de una pieza única o múltiples piezas, de hecho sus elementos pueden variar en número y formas, como también, cada segmento se encuentra diseñado para un propósito específico. Algunos elementos sólo transportan el material en bruto o pre-acondicionado en el cilindro del extrusor, otros lo comprimen y desgasifican, así también, existen los que promueven el amasado, el reflujó y la cizalla del material en el extrusor (Ramachandra y Thejaswini, 2015).

- **Barril:** Este componente se divide en tres zonas: alimentación, compresión y fusión. Comúnmente se encuentran encamisados con el objetivo de circular vapor o aceite sobrecalentado para la calefacción del material en extrusión, como también, circular agua o aire para disminuir la temperatura del material. Por lo tanto, permite realizar ajustes de la temperatura en las diversas zonas del extrusor (Ramachandra y Thejaswini, 2015).
- **Dado:** El dado presenta dos funciones principales: dar forma al producto final y promover la resistencia al flujo de material dentro de la extrusora, 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).
- **Mecanismo de corte:** Por su parte, el mecanismo de corte permite la obtención de productos finales con tamaño uniforme, mientras el tamaño del producto se determina en función de la velocidad de las cuchillas de corte (Ramachandra y Thejaswini, 2015).
- **Motor y reductor de engranajes:** Estos dos componentes constituyen la parte cinemática de los extrusores, cuyos diseños determinan el dominio de la velocidad de torsión cubierto por el equipo de extrusión. En efecto, dichos componentes entregan la potencia mecánica requerida por el proceso de extrusión. Por su parte, el sistema de accionamiento del motor permite

ajustar el esfuerzo de torsión y la velocidad del tornillo de acuerdo con los requisitos del proceso, siendo parte fundamental para definir el rendimiento del extrusor en términos de productividad del proceso y conversión del producto (Bouvier y Campanella, 2014).

### **2.6.3 TIPOS DE EXTRUSORES**

En la industria de alimentos existen un sinnúmero de tipos de extrusores, dependiendo de la aplicación, algunos diseñados solo para transporte, mezclado y moldeado del material alimenticio, como es el caso del proceso de extrusión industrial de pastas y embutidos (Moscicki, 2011).

Asimismo, hay extrusores diseñados para cocción y fundición de materiales ricos en almidón como son los cereales aplicados en la industria de los snack expandidos. Actualmente, se dispone extrusores con diferentes configuraciones y funcionamiento. Por lo tanto, son clasificados en función de sus aplicaciones, diseños y configuraciones. Sin embargo, la extrusión termoplástica tiene mayor interés en el procesamiento de alimentos, como consecuencia de los cambios y mejoras nutricionales que presenta esta tecnología (Bouvier y Campanella, 2014).

La evolución dinámica de los diseños de extrusores, ha permitido diferenciar el diseño en dos tipos: extrusoras de tornillo simple y de doble tornillo, enfocados a aplicaciones específicas y prácticas, de acuerdo a sus ventajas de funcionamiento (Navale, Swami y Thakor, 2015).

#### **2.6.3.1 Extrusión en frío**

La extrusión en frío tiene como principio de funcionamiento la no adición de energía térmica externa al proceso de extrusión. Para esta forma de procesamiento, los extrusores presentan una configuración simple, generalmente, con tornillos de filetes y canales muy profundos. Además, el trabajo lo desempeñan a bajas velocidades en un troquel de superficie lisa, como consecuencia los ingredientes alimenticios se someten al mínimo grado de fricción y bajas presiones (Moscicki, 2011).

En general, éstos extrusores se utilizan para mezclar, amasar, dispersar, texturizar, disolver y moldear un producto alimenticio. Mediante este proceso se obtienen productos de elevada densidad y elevada humedad como galletas, embutidos, pastas y fideos y algunas pastas para pastelería y confitería (Singh y Heldman, 2014).

#### **2.6.3.2 Extrusión en caliente**

El principio de funcionamiento de la extrusión en caliente involucra elevadas temperaturas ( $>100^{\circ}\text{C}$ ) y tiempos cortos ( $< 30$  segundos) de procesamiento (HTST). Por lo tanto, minimiza la contaminación microbiana y la pérdida de nutrientes en el alimento (Obradovi, Babi, y Jozinovi, 2014). De hecho, este proceso permite obtener productos expandidos de baja densidad con excelentes características de textura, debido al rápido descenso de la presión y humedad en el producto a la salida de la matriz (Filli, Nkama, Jideani, & IBOK, 2012).

Por otra parte, durante el proceso de extrusión en caliente las moléculas de almidón experimentan una variedad de reacciones que conducen a una variedad de transformaciones, tales como: la gelatinización y la degradación molecular, debido al tratamiento térmico y mecánico que resulta en una serie de cambios que provocan la pérdida de cristalinidad, la disociación de las hélices dobles de amilopectina y la lixiviación de la amilosa (Filli et al., 2012), donde finalmente se obtiene al almidón en estado amorfo (Guy, 2001).

#### **2.6.3.3 Extrusores de un tornillo**

Los extrusores de un solo tornillo poseen un diseño relativamente simple, por tal razón, se han posesionado como los equipos más utilizados en la industria de alimentos extruidos. En efecto, el barril cuenta con ranuras helicoidales o axiales en la superficie interna, debido a que permite transmitir energía y mezclar el material de manera más efectiva (Karwe, 2009). Por otra parte, el tornillo cumple las funciones de transportar, comprimir, fundir y plastificar el material bajo fuerzas de cizalla y alta presión a través de pequeños orificios presentes en la boquilla al extremo de salida del barril (Moscicki, 2011).

Por su parte, estos extrusores de acuerdo a los parámetros de proceso o del equipo se clasifican en: extrusores en seco o húmedo, de tornillo sólido o segmentado, de alta cizalla y baja cizalla. Sin embargo, a partir de un punto de vista práctico, se considera el esfuerzo de cizalla la clasificación principal (Navale et al., 2015).

Además, cabe señalar que los extrusores de un solo tornillo procesan materiales con un alto coeficiente de fricción, tales como sémola de maíz o de arroz, que se pueden extruir incluso bajo una presión de alrededor de 15-20 MPa, siendo materiales básicos para la producción de aperitivos extruidos de consumo directo o cereales para el desayuno (Moscicki, 2011).

#### **2.6.3.4 Extrusores de doble tornillo**

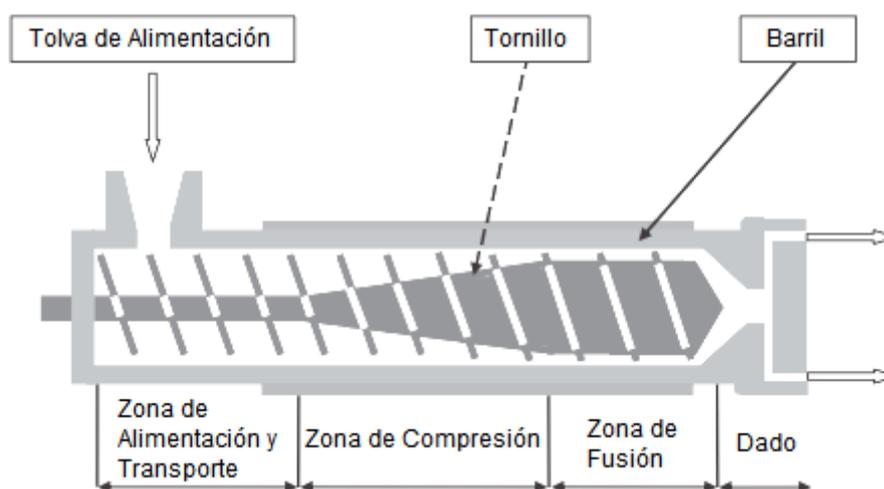
Los extrusores de doble tornillo son más complejos en términos de diseño que los extrusores de un solo tornillo, debido a que se componen de dos ejes que giran dentro de un solo cilindro, los cuales han sido clasificados de acuerdo a su sentido de rotación y por la forma en que los tornillos giran entre sí. Así, por ejemplo, los extrusores comúnmente utilizados en la industria alimentaria son los de tornillo de filete cortante y de corotación, debido al movimiento que genera para impulsa el material a través del extrusor. Por tanto, el proceso de transporte en un extrusor de doble tornillo depende en menor medida de las propiedades de fricción del material, debido a la acción del segundo tornillo en la región de engranaje. Como consecuencia, proporciona un grado de desplazamiento positivo (Altan y Maskan, 2012).

Actualmente, los extrusores de doble tornillo han ganado una amplia popularidad entre los productores de alimentos y piensos extruidos, debido a su gran versatilidad (capacidad de procesar una amplia gama de materiales, incluyendo materiales viscosos y difíciles de ruptura), menor consumo de energía y la capacidad de ampliar la producción de manera significativa (Moscicki, 2011).

## 2.6.4 DESCRIPCIÓN DE LA OPERACIÓN DEL EXTRUSOR DE UN TORNILLO

El proceso de extrusión, generalmente, consiste en forzar el material alimenticio a través de un orificio con abertura determinada. No obstante, el material alimenticio experimenta múltiples cambios físico-químicos durante su paso en el extrusor, como consecuencia del aumento de la temperatura al interior del extrusor, particularmente a medida que el alimento se acerca al dado.

Con respecto a las funciones de proceso en los extrusores de un tornillo, el conjunto tornillo-barril normalmente se compone de tres secciones en serie (Bouvier y Campanella, 2014), tal como se muestra en la figura 2.



**Figura 2.** Zonas operativas del extrusor de un tornillo

Fuente: (Bouvier y Campanella, 2014)

Las zonas del extrusor realizan las siguientes funciones:

- **Zona de transporte:** Es la sección más cercana a la tolva donde, generalmente, posee los canales del tornillo con mayor profundidad, a fin de ofrecer una alta capacidad de transporte de materia prima sólida y particulada (polvos sólidos y grits). Su función principal es transportar el material alimenticio a la siguiente zona con una velocidad adecuada (Bouvier y Campanella, 2014). Además, en esta zona la temperatura de procesamiento es baja, pues se debe evitar que el material alimenticio se plastifique y obstruya el flujo del material (Navale et al., 2015).

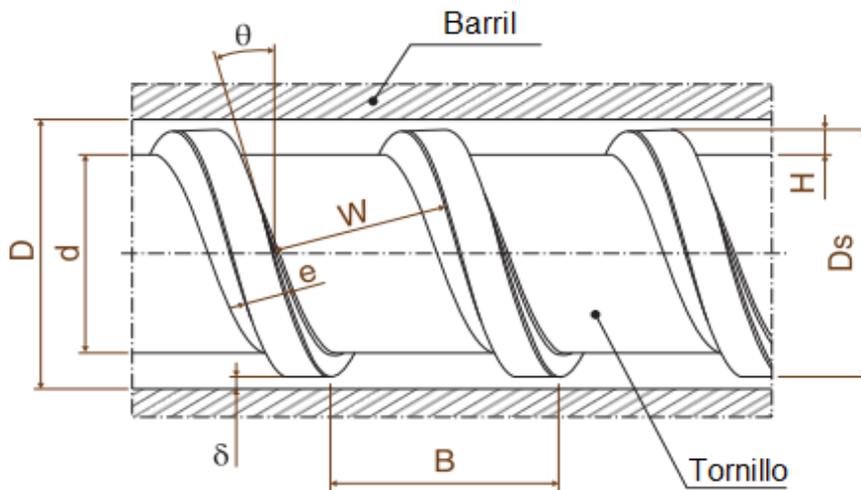
- **Zona de compresión:** Es la zona más larga y esencial del extrusor, donde la profundidad del canal y del paso disminuye de manera gradual, para facilitar la mezcla y un mayor grado de llenado del barril. Esta zona aplica compresión, cizallamiento suave y energía térmica por conducción (temperaturas: de 65 a 100°C) y fricción interparticular a la materia prima, como consecuencia el producto extruido comienza a perder parte de su definición granular. A medida que el material se mueve a través de la zona de compresión, comienza a formar una masa de textura fluida cada vez más cohesiva, que normalmente alcanza su máxima compactación. Al finalizar esta sección, el material alimenticio a 100°C de temperatura o superior alcanza el estado de fluido viscoso (almidón fundido) (Guy, 2001).
- **Zona de fusión:** Es la zona de cocción final del extrusor. En esta sección, la profundidad del canal y el paso del tornillo se reducen al máximo por lo tanto, se alcanza el mayor esfuerzo de cizalla, la mayor presión y también la mayor temperatura (de 110 a 200 °C). La función de esta zona es fundir y degradar completamente el material almidonoso hasta obtener una masa plastificada, la cual mediante presión es forzada a atravesar el dado (Beltrán y Marcilla, 2012).

## **2.6.5 FACTORES QUE AFECTAN AL PROCESO DE EXTRUSIÓN**

### **2.6.5.1 Diseño del extrusor de un solo tornillo**

#### **➤ Diseño del tornillo**

En la extrusión en caliente, el tornillo es considerado el componente más importante del extrusor, dado que sus funciones son transportar, comprimir, fundir y plastificar el material alimenticio y finalmente forzarlo bajo presión a atravesar los pequeños orificios del dado. Por esta razón, el diseño de este componente genera mayor efecto en la estabilidad del proceso y la calidad del producto.



**Figura 3.** Tornillo de un extrusor

Fuente: (Bouvier y Campanella, 2014)

Los especificaciones técnicas del diseño del tornillo son: su longitud, el diámetro interno del barril ( $D$ ), el diámetro de la raíz del tornillo ( $d$ ), el paso del tornillo ( $\beta$ ), el ancho del filete ( $e$ ), la holgura del tornillo ( $\delta$ ), el diámetro real del tornillo ( $D_s$ ), la altura real del filete del tornillo ( $H$ ), el ancho del canal ( $W$ ) y el ángulo del filete ( $\theta$ ) (Bouvier y Campanella, 2014).

Los extrusores de un tornillo utilizados en la elaboración de productos extruidos expandidos, generalmente, presentan una configuración barril-tornillo que reduce progresivamente el área de flujo a lo largo del barril, siendo el tornillo el mayor responsable de dicho efecto. En consecuencia, el material alimenticio se comprime y transforma a medida que se desplaza por el cañón (Berk, 2018).

Por lo tanto, el tornillo presenta una configuración geométrica variable en las zonas del extrusor. Así, en la zona de alimentación el tornillo presenta un menor diámetro raíz, filetes más profundos y delgados, con mayor distanciamiento entre ellos (paso tornillo), donde el objetivo de esta zona es transportar el material a la siguiente zona, sin generar esfuerzos de cizallamiento. Al contrario, en las zonas de compresión y dosificación o fusión, el diámetro raíz y la anchura del filete aumentan gradualmente, mientras la profundidad del filete y la distancia entre ellos (paso) disminuyen de manera continua hasta llegar a 0. Esto con el fin de generar mayor llenado en estas zonas y consecuentemente mayor esfuerzo de cizalla, temperatura

y compresión, con mayor severidad en la zona de fusión (Bouvier y Campanella, 2014).

Cabe mencionar que mediante esta configuración del tornillo, se logra el traslado eficiente del material alimenticio y, de modo oportuno, a medida que el producto llega al dado se generan los principales cambios físico-químicos para la producción de snacks extruidos expandidos, como son: la gelatinización y la fundición del almidón (Guy, 2001).

Por otra parte, la relación longitud y diámetro del tornillo (L/D) influyen directamente en la productividad del extrusor. Es decir, al aumentar la longitud del tornillo, aumenta también su diámetro y como consecuencia aumenta la capacidad de producción. Asimismo, bajo este lineamiento, incrementa la capacidad de fusión o plastificación del material alimenticio.

No obstante, las propiedades del material alimenticio como: la elasticidad, el calor específico, el coeficiente de fricción, las temperaturas de gelatinización y fusión y la viscosidad del fundido, son propiedades importantes al momento de diseñar el tornillo, ya que influyen en mayor medida en la calidad del producto extruido, por lo tanto, es lógico utilizar diferentes tipos de tornillos para los distintos productos (Beltrán y Marcilla, 2012).

#### ➤ **Diámetro del dado**

Se considera un elemento importante para el equipo y el proceso de extrusión. Es así que el tamaño del diámetro de la matriz permite desarrollar una presión de trabajo adecuada según el tipo de producto que se realice, de manera particular, en la elaboración de snacks extruidos expandidos, un diámetro menor del orificio en dado aumenta la presión al interior del extrusor y el grado de expansión del producto. Dichos efectos se producen por el aumento de la temperatura y la fuerza de cizalla lo que permite la gelatinización y la fundición completa del almidón, cambios necesarios para la expansión del producto. Asimismo, se puede obtener diferentes formas de snacks extruidos únicamente al cambiar los diseños del dado (Steel et al., 2012).

### **2.6.5.2 Condiciones de operación del extrusor**

#### **➤ Perfil de temperatura del barril**

En la extrusión en caliente, la temperatura de procesamiento se genera mediante inducción de energía térmica y mecánica, esta última producida por la fricción entre el alimento y el equipo. Generalmente, la temperatura del barril aumenta conforme el material alimenticio pasa por las zonas de compresión y fusión (Bouvier y Campanella, 2014).

La temperatura de extrusión genera múltiples cambios en la formulación alimenticia, siendo la desnaturalización de la proteína y la gelatinización, fusión y dextrinización del almidón las más importantes (Altan y Maskan, 2012).

Cabe indicar que la temperatura de procesamiento en la elaboración de productos extruidos expandidos puede llegar hasta los 180°C, en la zona de fusión, con la finalidad de fundir completamente el almidón. Como resultado, se obtiene un producto extruido con alta expansión y baja densidad (Bouvier y Campanella, 2014).

Por otra parte, el aumento de la temperatura del barril produce una menor viscosidad del fundido, como resultado aumenta la expansión longitudinal y disminuye la expansión radial del producto (Majumdar y Singh, 2012).

Asimismo, al incrementar la temperatura por encima de los 180°C en formulaciones con bajos contenidos de humedad <20%, la expansión radial disminuye y el Índice de Solubilidad en Agua (ISA) en el extruido aumenta, debido a que bajo estas condiciones de procesamiento se produce la formación de dextrinas, particularmente maltodextrinas que son de cadena lineal, las cuales prevalecen sobre el grado de gelatinización del almidón (Sobukola, Babajide y Ogunsade, 2013).

En otras palabras, el almidón se hidroliza y forma dextrinas las cuales son solubles en el agua y generan extruidos con paredes celulares frágiles que colapsan a temperatura ambiental (Sarifudin y Assiry, 2014).

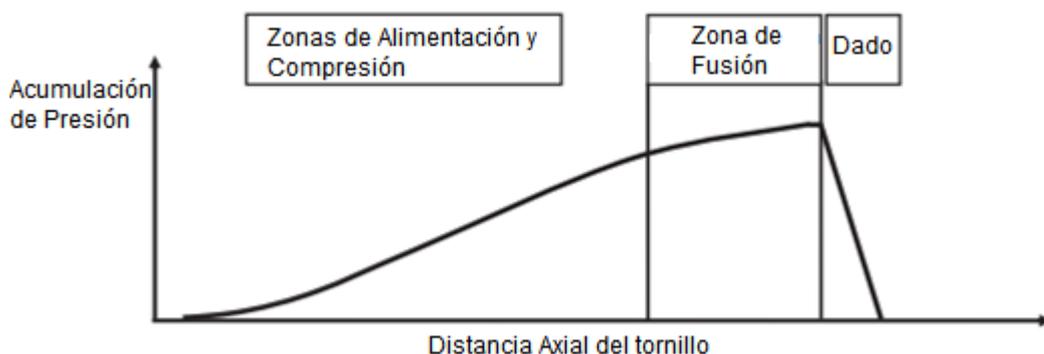
### ➤ Velocidad del tornillo

La velocidad del tornillo influye directamente en el rendimiento del extruido. Aumentar la velocidad del tornillo permite incrementar el caudal másico y por ende incrementar la producción, que es lo deseado por las industrias. Asimismo, disminuye el tiempo de residencia del material en el extrusor y aumenta la cantidad de calor generado por el esfuerzo de cizalla, la presión dentro del barril y la tasa de transferencia de calor al producto. Por lo tanto, aumenta la expansión seccional o radial (Altan y Maskan, 2012)

Sin embargo, trabajar bajo excesiva velocidad del tornillo genera efectos no deseados en la industria de snacks extruidos expandidos, como son productos con baja expansión y mayor dureza, como consecuencia de la gelatinización y fusión incompleta del almidón (Moscicki, 2011). Generalmente, en un extrusor de un solo tornillo la velocidad de éste oscila de 150 a 600 rpm, dependiendo de su aplicación (Fellows, 2000).

### ➤ Perfil de presión al interior del barril

El material alimenticio durante el proceso de extrusión en caliente se expone a una presión relativamente alta, la cual puede extenderse hasta 25 MPa. La temperatura, el esfuerzo de cizalla (mantiene una relación con la viscosidad del alimento) y la velocidad del tornillo, son los principales responsables de la presión en el barril. En efecto, conforme aumenta la temperatura, el esfuerzo de cizalla y la velocidad del tornillo, aumenta la presión al interior del extrusor (Moscicki, 2011).



**Figura 4.** Gráfico simplificado de la acumulación de presión en un extrusor

Fuente: (Bouvier y Campanella, 2014)

Por otra parte, a medida que el material alimenticio avanza al interior del extrusor, la temperatura y el esfuerzo de cizalla aumentan. En consecuencia, la presión aumenta de manera gradual hasta llegar a la zona de fusión, donde se alcanza la mayor presión previa a la salida por el dado. La abrupta caída de presión que sufre el producto a la salida del extrusor provoca la evaporación súbita del agua y a la vez, la expansión del producto (Lević y Sredanović, 2010).

Además, la eficacia del extrusor depende en mayor medida de la acumulación de presión en el barril, debido al efecto positivo que genera en los cambios físico-químicos que sufre el almidón, como son: la gelatinización y fusión. Resultado de ello, se obtiene productos con una estructura altamente aireada y textura crujiente (Navale et al., 2015).

### **2.6.5.3 Composición de la matriz alimentaria**

Las materias primas más utilizadas en la elaboración de productos extruidos expandidos, son aquellas con altos contenido de almidón, tales como: el maíz, el trigo y el arroz. No obstante, se puede utilizar en diferentes proporciones y de manera efectiva otras materias primas como: leguminosas, raíces y tubérculos y semillas oleaginosas, que poseen altos contenidos de proteína, fibra, almidón y lípidos, respectivamente. Por ende, dichas materias primas incrementan el contenido nutricional de los snacks extruidos a base de cereales (Pérez, Peñafiel y Delgado, 2017).

Por otra parte, las características principales de las materias primas que influyen en el proceso de extrusión en caliente son: el tipo de material, contenido de humedad estado físico, composición química (cantidad y tipo de almidón, proteínas, grasas y azúcares) y pH del material (Navale et al., 2015).

Cabe señalar que la formulación de ingredientes alimenticios genera un gran impacto en la textura, uniformidad, calidad nutricional y comercial y viabilidad económica del producto (Altan y Maskan, 2012).

## ➤ **Materias primas para la extrusión en caliente**

### **Cereales**

Los cereales, en particular el maíz, constituyen la materia prima principal en la elaboración de alimentos extruidos expandidos, debido a su composición físico-química (almidón: amilosa y amilopectina), bajo costo y disponibilidad en el mercado (Pérez, Peñafiel y Delgado, 2017).

Por su parte, el maíz duro debido a su alto contenido de almidón (componente principal que forma la estructura del extruido) con valores que varían de 50 a 80% en base seca (Navale et al., 2015), y su composición de amilosa (polímero de peso molecular bajo de  $10^5$  a  $10^6$  g/mol) con valores que oscilan de 25 a 35% y amilopectina (polímero de peso molecular alto de  $10^7$  a  $10^9$  g/mol) con valores que oscilan de 65 a 75%, ha sido la variedad de maíz mayormente utilizada por la industria de alimentos. Cabe señalar que, las materias primas con estas características desarrollan productos extruidos altamente expandidos (Guy, 2001).

Asimismo, la amilosa y amilopectina son responsables de las propiedades físico-químicas y funcionales del almidón, entre las más importantes, las temperaturas de gelatinización, gelificación y fusión (Bouvier y Campanella, 2014). Donde, los almidones con mayor contenido de amilosa presentan una mayor temperatura de gelatinización (Ai y Jane, 2018).

Adicionalmente, los gránulos del almidón de maíz presentan un tamaño que oscila de 5 a 20  $\mu\text{m}$  y de acuerdo a su estructura cristalina (amilopectina) se los clasifica como almidones tipo A, los cuales son menos resistentes al proceso de digestión (Ai y Jane, 2018).

Por otra parte, el maíz presenta un bajo contenido de proteínas (6-10%) conformado principalmente por gliadinas y gluteninas, esta última presenta características extremadamente elásticas, donde junto con la gliadina permiten una mayor capacidad de retención de aire en el extruido a la salida del extrusor. Por lo tanto, coadyuvan en la producción de extruidos con estructuras celulares de mayor tamaño (Moscicki, 2011).

Sin embargo, la proteína de los cereales es de calidad inferior debido a su deficiencia en aminoácidos esenciales como la lisina y triptófano, pero poseen cantidades considerables de aminoácidos azufrados (metionina y cisteína), en contraste con la proteína de las leguminosas, siendo complementarias de éstos. Por tanto, al mezclar dos porciones de cereales con una de leguminosas se consigue un alimento que en balance de aminoácidos es ideal para el ser humano (Villacrés, Peralta, y Álvarez, 2003).

### **Raíces y Tubérculos**

Las raíces y tubérculos, en particular la papa, constituyen una de las principales fuentes de almidón con valores que varían de 60 a 95% de almidón en base seca (Semeijn y Buwalda, 2018).

Por su parte, el almidón de la papa presenta un contenido de amilosa con valores que oscilan de 20 a 25%. Por lo tanto, la adición de papa a la formulación a base de maíz, proporciona una expansión adicional al extruido, puesto que utilizar materiales alimenticios que contengan de 80 a 95% de amilopectina, desarrollan productos extruidos altamente expandidos y crujientes (Guy, 2001).

Asimismo, los gránulos de almidón de papa (60–100  $\mu\text{m}$ ) presentan mayor tamaño que la mayoría de los cereales (Moscicki, 2011), y de acuerdo a su estructura cristalina (amilopectina) se los clasifica como almidones tipo B, los cuales son moderadamente resistentes al proceso de digestión (Ai y Jane, 2018).

Por su parte, el almidón durante el proceso de extrusión, sufre una disrupción de orden molecular al interior del gránulo. Dicho cambio físico-químico se denomina gelatinización, el cual se genera cuando los gránulos de almidón se calientan en presencia de agua, gelatinizando primero los gránulos grandes y por último los pequeños (Navale et al., 2015). Por lo tanto, el almidón de papa presenta una temperatura de gelatinización menor que el maíz (ver Tabla 13).

**Tabla 13.** Características de los gránulos de almidón

Almidón	Tipo	Morfología	Diámetro (µm)	Contenido de amilosa (%)	Temperatura de Gelatinización (°C)	Temperatura de Gelificación (°C)
Maíz	Cereal	Redondo poligonal	5-30	25	62-72	80
Maíz ceroso	Cereal	Redondo poligonal	5-30	<1	63-72	74
Yuca	Raíz	Ovalado truncado	4-35	17	62-73	63
Papa	Tubérculo	Ovalado esférico	5-100	20	59-68	64
Trigo	Cereal	Redondo lenticular	1-45	25	58-64	77
Arroz	Cereal	Esférico poligonal	3-8	19	68-78	81
Sago	Tronco	Ovalado truncado	15-65	26	69-74	74

Fuente: (Taggart, 2004)

Cabe señalar que la gelatinización de almidón inicia con una lenta absorción de agua en las zonas intermicelares amorfas (amilosa) que son menos organizadas y las más accesibles, y finaliza en la estructura cristalina (amilopectina). En efecto, a mayor contenido de amilosa, mayor temperatura de gelatinización. Sin embargo, la papa contiene mayor contenido de amilosa que el maíz ceroso, no obstante, presenta una menor temperatura de gelatinización. Tal efecto, se atribuye particularmente a la presencia de grupos éster-fosfato en el gránulo de papa, los cuales ayudan a desestabilizar la estructura cristalina mediante repulsión (Ai y Jane, 2018).

### **Leguminosas**

Las leguminosas, por su parte, se consideran una fuente pobre de almidón con contenidos que oscilan de 25 a 50% de almidón en base seca, mismo que presenta mayor resistencia al proceso de digestión. Por tanto, se los clasifica como almidones tipo C (Ai y Jane, 2018).

No obstante, las leguminosas, en particular el chocho, presentan altos contenidos de proteína con valores de hasta 51% de proteína en base seca en el grano y altos contenidos de lípidos (20%) con ácidos grasos esenciales, principalmente el oleico. Además presenta un mayor contenido de triptófano y tirosina frente a otras

leguminosas como la soya y el frijol (Wrigley, Corke, Seetharaman y Faubion, 2016).

Si bien el contenido de proteínas es alto en el chocho, al ser una leguminosa, presenta deficiencia en aminoácidos azufrados. Sin embargo, al mezclarse con cereales ofrecen ventajas en la calidad nutricional debido a la complementación de aminoácidos. Sin embargo, la adición de leguminosas en la elaboración de extruidos expandidos genera efectos negativos, como baja expansión, debido a su mayor contenido de proteína (Pérez et al., 2017).

Por otra parte, la proteína de las leguminosas se compone principalmente por albúminas y globulinas, siendo esta última la mayor constituyente con el 70% (Patil et al., 2016). Cabe resaltar que las globulinas son elementos relativamente pequeños en relación con los polímeros del almidón fundido. Sin embargo, forman complejos de alta viscosidad las cuales retienen el agua al momento de la expansión, como consecuencia se obtiene extruidos con mayor densidad (Guy, 2001).

Además, las leguminosas aportan altos contenidos de fibra dietética, la cual durante el proceso de extrusión cambia la estructura de los alimentos y reduce la degradación del almidón, por tanto disminuye la disponibilidad de almidón fácilmente digerible en el extruido y por ende reduce el índice glucémico de estos alimentos (Patil, Anne, Sue, Charles y Brennan, 2017).

Adicionalmente, las leguminosas contienen factores no nutricionales tales como los inhibidores de tripsina, lectinas, entre otras, las cuales reducen su digestibilidad (Ghumman, Kaur, Singh y Singh, 2016). Otro factor presente en las leguminosas con efectos negativos desde el punto de vista organoléptico es la enzima lipooxigenasa que participa en la oxidación de ácidos grasos (Bordoloi y Ganguly, 2014). Sin embargo, estos factores se inactivan durante la extrusión.

#### ➤ **Función de los componentes de la matriz alimentaria**

Los componentes de la formulación de ingredientes alimenticios cumplen varias funciones funcionales en el proceso y formación de productos extruidos. Por lo tanto, Guy (2001) en base a los resultados de un sinnúmero de investigaciones los clasifico en siete grupos, como son:

## **Materiales formadores de estructura**

La estructura de los productos extruidos se puede formar a partir de biopolímeros de almidón o proteínas (Navale et al., 2015). No obstante, la estructura de los snacks extruidos expandidos se forma a partir de la masa fundida constituida por almidón, la cual, a la salida del extrusor, se expande espontáneamente tras la liberación del vapor de agua, promoviendo así la formación de una estructura alveolar que conduce a la producción de un sólido celular después del enfriamiento (Bouvier y Campanella, 2014). Mientras, las proteínas solo se usan para formar productos que tienen características similares a la carne (Guy, 2001)

### **Almidón**

El almidón es el componente principal que forma la estructura del producto extruido expandido. Los gránulos de almidón se gelatinizan y se funden por acción de altas temperaturas  $>110^{\circ}\text{C}$  y bajos contenidos de humedad  $<20\%$ , a la vez se dispersan durante la extrusión, dando como resultado la formación de una masa fundida en fase continua al interior del extrusor (Moscicki, 2011). Este fluido, a presión atmosférica, forma las paredes celulares de las burbujas de aire y permiten que se expandan hasta estallar y finalmente tras la rápida caída de la temperatura causada por la evaporación, y el aumento de la viscosidad debido a la pérdida de humedad, la estructura celular se endurece (Ding, Ainsworth, Plunkett, Tucker y Marson, 2006).

De lo expuesto se infiere que el almidón extruido presenta un rápido aumento de la viscosidad seguido por la formación de un estado vítreo (Sandrin, Caon, Zibetti, & de Francisco, 2018) .

Por otra parte, la relación amilosa/amilopectina del almidón es clave para proporcionar las mejores características de expansión. En efecto, los polímeros formadores de estructuras deben tener un peso molecular suficiente para proporcionar suficiente viscosidad del fluido para evitar o controlar la contracción de un producto extruido después de que haya alcanzado su máxima expansión y haya roto las celdas de aire (Bouvier y Campanella, 2014).

De hecho, las moléculas más pequeñas permiten un mayor flujo en las paredes de las células de la burbuja y causan un aumento en la expansión (Guy, 2001). No obstante, la mayoría de almidones se constituye principalmente (70-80%) por el polímero de alto peso molecular como es la amilopectina, quien posee un peso molecular de hasta  $10^9$  g/mol, y en menor cantidad la amilosa (20-30%), quien tiene un bajo peso molecular de  $10^5$  g/mol (Ai y Jane, 2018) . Por lo tanto, bajo este fundamento la amilosa presenta mejores características para obtener una expansión óptima (Alam, Kaur, Khaira, y Gupta, 2015).

Cabe señalar que la amilosa y la amilopectina disminuyen su peso molecular durante la extrusión. Sin embargo, por el corto tiempo de procesamiento y la severidad de la extrusión, la amilopectina por su estructura ramificada es más susceptible a la cizalladura que la amilosa, por tanto, sufre mayor degradación y consecuentemente permite una mayor expansión en el producto extruido que la amilosa (Guy, 2001).

En efecto, el almidón forma estructuras altamente porosas y paredes celulares delgadas, esencial para la obtención de productos extruidos altamente expandidos. Para la elaboración de productos extruidos expandidos y crujientes se requiere un contenido de almidón de al menos 60% en base seca y con un composición de amilopectina de 75 a 95% (Majumdar y Singh, 2012).

## **Materiales de relleno de fase dispersa**

### **Proteína**

Las proteínas se forman a partir de cadenas de aminoácidos y tienen una amplia gama de tamaños y formas físicas en las materias primas. En la extrusión, la proteína desempeña dos funciones, como son: formador de estructura (concentraciones 35–40%) o material de relleno en fase dispersa (en productos a base de almidón como extruidos altamente expandidos) (Bouvier y Campanella, 2014).

Esta primera función se produce en formulaciones con altas concentraciones de proteína. En efecto, el mecanismo de creación de estructuras con proteínas es similar al almidón ya que las proteínas globulares amorfas, en el caso de la soja y

los cereales, se dispersan desde sus cuerpos nativos a una masa continua que fluye libremente, gracias a la acción de cizallamiento del extrusor (Moscicki, 2011).

Mientras en la elaboración de productos extruidos altamente expandidos el contenido de proteína es bajo por lo tanto, actúan como materiales de relleno en las fases dispersas de la estructura del almidón (Patil et al., 2017).

Generalmente, las proteínas de cereales y leguminosas no poseen propiedades viscoelásticas como el almidón. Por lo tanto, aumentar su concentración a expensas del almidón, generalmente, se obtiene productos extruidos con una estructura de baja porosidad y consecuentemente mayor densidad (Altan y Maskan, 2012).

### **Fibra**

La fibra bruta de la formulación de materiales alimenticios se constituye principalmente por hemicelulosa, celulosa y derivados de la lignina provenientes de cascarillas y salvados de las materias primas utilizadas. En la extrusión la fibra permanece estable y sufren una disminución de tamaño. Sin embargo, en el extruido desempeña la función de relleno de las fases dispersas que se encuentran dentro de la estructura continua del almidón (Guy, 2001).

Por otra parte, la fibra en el proceso de extrusión disminuye la capacidad de retención de aire del almidón fundido, ya que desestabiliza las paredes celulares del extruido a temperatura y presión atmosférica. Es decir, aumentar el contenido de fibra en la formulación disminuye la expansión del producto (Altan y Maskan, 2012).

Asimismo, la disminución en la expansión por efecto de la fibra en el extruido a base de almidón, se atribuye a la competencia directa que mantiene con el almidón por las partículas de agua libre al interior del extrusor, de tal manera que retarda el proceso de gelatinización del almidón y consecuentemente produce snacks extruidos con poca nucleación y baja crujencia (Shirani & Ganesharane, 2009).

## **Ingredientes que actúan como plastificantes y lubricantes**

### **Agua (Contenido de humedad)**

La humedad es una variable crítica que permite controlar el proceso de extrusión (temperatura y velocidad) y tiene múltiples efectos en la gelatinización del almidón, desnaturalización de proteínas, lubricación del barril y la calidad nutricional y de textura del producto final (Navale et al., 2015). Específicamente, el contenido de humedad afecta a la densidad del producto, la expansión, la rehidratación del producto, la gelatinización y la fusión del almidón (Altan y Maskan, 2012).

Particularmente, el agua actúa como plastificante, por tanto, disminuye las temperaturas de transición vítrea y de fusión del almidón (Steel et al., 2012). En efecto, los niveles altos de humedad cambian la estructura molecular de la amilopectina del material alimenticio, reduciendo la elasticidad de la masa fundida y consecuentemente genera extruidos poco expandidos con paredes celulares más gruesas y porosidad más baja (Ding, Ainsworth, Tucker y Marson, 2005).

Por lo tanto, los niveles de humedad normales usados en la extrusión se encuentran en el intervalo de 10-40% sobre una base de peso en húmedo, ya que bajo estos niveles de humedad los polímeros se mueven y deslizan entre sí y la naturaleza física de los extruidos cambia de un estado vítreo a un fluido elástico viscoso (Guy, 2001). Las condiciones de humedad más bajas brindan un producto extruido con textura más deseable (Gulati, Weier, Santra, Subbiah, y Rose, 2016).

Cabe señalar que la máxima gelatinización se produce a baja humedad y elevadas temperaturas. Por su parte, reducir el contenido de humedad (<18%) en la formulación aumenta el esfuerzo de cizalla y por ende la energía mecánica en el extrusor. Por lo tanto, se genera mayor daño mecánico al almidón (dextrinización) y consecuentemente disminuye el Índice de Absorción en Agua (IAA) y aumenta el Índice de Solubilidad en Agua (ISA) en el extruido (Ding et al., 2006).

### **Lípidos**

Los lípidos tienen dos funciones en el proceso de extrusión; influyen en la calidad del producto y actúan como lubricantes entre el alimento y los tornillos del extrusor. Con base a la última función descrita, los lípidos durante la extrusión en caliente se

dispersan rápidamente en forma de gotitas finas de aceite de tamaño  $<1,5 \mu\text{m}$  en las masas de polímeros fundidos y quedan atrapadas en la fase continua del almidón, disminuyendo el esfuerzo cortante entre el tronillo y el alimento (Bouvier & Campanella, 2014).

Además, los lípidos producen grandes efectos en el procesamiento del almidón. Es así que con un contenido de lípidos mayor al 3%, disminuye la degradación del almidón, de tal forma que se obtiene productos extruidos con baja expansión, mayor densidad y consecuentemente con mayor dureza. Es decir, los gránulos de almidón se pueden fundir durante la extrusión pero su capacidad de retención de aire al interior del extruido es baja (Guy, 2001).

### **Sólidos solubles**

Algunos materiales de bajo peso molecular, como azúcares o sales, pueden agregarse a una formulación para cumplir funciones de aromatizantes o humectantes. Estos materiales se disuelven en el agua libre y forman un fluido plastificante más viscoso. Además, tienen poco efecto en la mayoría de los biopolímeros formadores de estructura a bajos niveles de adición (5%). Por el contrario, al aumentar el contenido azúcar a la formulación, la viscosidad del almidón fundido disminuye y consecuentemente la degradación del almidón y la expansión del producto, a menos que se disminuya el contenido de humedad (Guy, 2001).

### **Sustancias nucleantes**

La función de estos elementos es aumentar la nucleación de burbujas en el fluido fundido dentro del extrusor, lo cual ayuda a producir extruidos con mayor expansión y mejores características texturales (menor dureza y mayor crujencia). Los ingredientes comúnmente utilizados incluyen carbonato de calcio en polvo y sales de fosfato de calcio insolubles (Altan y Maskan, 2012).

### **Materiales colorantes**

La coloración en los productos extruidos se puede producir mediante la adición de colorantes permitidos estables al calor o por efecto de precursores de color por reacción térmica en la formulación de ingredientes. Además, se puede obtener

diferentes colores a partir de los pigmentos naturales de las materias primas (Guy, 2001).

Sin embargo, los colores naturales en el maíz y de otras fuentes alimenticias tienden a ser lábiles al calor y desaparecen a altas temperaturas. Así, el maíz amarillo produce extruidos amarillos a temperaturas de 120°C, pero pierde la mayor parte de este color a 150°C. No obstante, existen varios aditivos de color sintéticos ( $\beta$ -caroteno, Canthaxthin y Annatto) con suficiente estabilidad térmica para ser utilizados en productos donde las temperaturas máximas de proceso oscilan los 150 a 160°C (Guy, 2001).

Además, el color en los alimentos extruidos se puede producir por la reacción pardeamiento de Maillard entre los azúcares reductores y los grupos amino en los aminoácidos y péptidos. Las reacciones de condensación posteriores y la formación de compuestos fenólicos poliméricos llevan al desarrollo de colores marrón rojizo pálido, que se oscurecen con el aumento del tiempo y la temperatura de proceso (Moscicki, 2011)

### **Sustancias aromatizantes**

El sabor de un producto se puede desarrollar por reacción térmica entre los precursores de sabor en la formulación o por la adición de saborizantes sintéticos o naturales. La adición de saborizante se realiza generalmente en el extruido seco mediante pulverización o polvo debido a los cambios causados por las pérdidas de material volátil durante la extrusión (Guy, 2001).

#### **➤ Tamaño de partícula**

El tamaño de partícula juega un rol importante en la distribución de humedad de los ingredientes alimenticios durante el acondicionamiento. Donde, al utilizar materias primas con tamaños de partículas heterogéneos y tiempos cortos de acondicionamiento, se genera gradientes de humedad dentro las partículas, particularmente las de tamaño más grande. Lo cual, induce mayor heterogeneidad de cocción en el extrusor y consecuentemente productos extruidos con apariencia y textura no uniforme (Guy, 2001).

Asimismo, el tamaño de partícula influye directamente en la generación de energía mecánica por esfuerzo de cizalla y la transferencia de calor a la formulación de alimentos en el proceso de extrusión, siendo las partículas más pequeñas las de mayor eficiencia. Cabe señalar que al incrementar la temperatura de procesamiento, se reduce el tiempo de gelatinización y fundición del almidón, por lo tanto, reduce la densidad del producto y a la vez produce la formación de dextrinas, las cuales son solubles en el agua (Moscicki, 2011).

Por otra parte, el tamaño de partícula de los ingredientes alimenticios para la extrusión, depende de la configuración del equipo y de las materias primas. No obstante, su granulometría no debe ser mayor a un tercio del diámetro de los orificios de la matriz del extrusor. (Navale et al., 2015)

Sin embargo, en extrusores de un solo tornillo es recomendable trabajar con grits de tamaño grueso, ya que permiten producir la gelatinización del almidón en un lapso de tiempo correcto sin reducir la eficiencia del extrusor. Por el contrario, si se utiliza materias primas con tamaño de partículas muy finas, estas se funden rápidamente y no favorecen el transporte del material al interior del extrusor (Túpac, Pérez, y Zelada, 2012).

#### **2.6.6 CAMBIOS NUTRICIONALES DURANTE LA EXTRUSIÓN**

**Almidón:** El principal efecto de la extrusión en caliente sobre el almidón es la gelatinización, que particularmente con esta tecnología de procesamiento, se produce a bajos contenidos de humedad (12-22%). La velocidad de gelatinización del almidón aumenta al incrementar la temperatura, el esfuerzo cortante y la presión al interior del extrusor (Altan y Maskan, 2012).

Por su parte, el grado de gelatinización alcanzado influye de manera directa en el nivel de digestibilidad del almidón, ya que el almidón gelatinizado se hidroliza más fácilmente por las enzimas amilolíticas, siendo esto esencial para los alimentos nutricionales especializados como los alimentos para lactantes y niños (Berk, 2018).

Asimismo, la mayoría de estudios reconocen que el almidón gelatinizado juega un papel importante en la expansión, ya que proporciona mayor capacidad de retención

de gas a la masa extruida; por consiguiente, mejora la expansión del producto (Moscicki, 2011). Cabe señalar, que el límite inferior de almidón aceptable en la formulación de ingredientes para obtener un producto con buena expansión es de 60 a 70% (Bordoloi y Ganguly, 2014).

Por otra parte, durante la extrusión termoplástica, la amilosa y la amilopectina son parcialmente hidrolizadas a maltodextrinas, debido a las altas temperaturas y fuerzas de cizalla generadas en el extrusor, lo cual ocasiona una disminución de su peso molecular y consecuentemente aumentan la expansión del extruido de manera longitudinal y radial, respectivamente (Steel et al., 2012).

Adicionalmente, el efecto del proceso de extrusión en caliente sobre el almidón no se detiene en la gelatinización sino que continua hasta su fundición, lo que puede causar una despolimerización parcial (dextrinización) de la molécula de almidón, siendo necesario para aumentar la expansión del producto (Berk, 2018). A la vez, aumenta la cantidad de sólidos solubles en agua (Guy, 2001).

No obstante, cabe señalar que las condiciones de alta viscosidad y tiempos de residencia elevados favorecen la creación de complejos almidón-proteína y amilosa-lípido, los cuales disminuyen el grado de expansión del producto, pero aumentan el contenido de almidón resistente a la digestión en los productos obtenidos, de manera que genera mayor valor nutricional (Steel et al., 2012).

**Proteínas:** Las proteínas son un grupo de compuestos orgánicos altamente complejos que se componen de una secuencia de aminoácidos, que durante el proceso de extrusión sufren muchos cambios así, por ejemplo la desnaturalización de la proteína (despliegue de proteínas globulares, con la consiguiente pérdida de estructuras secundarias y terciarias), como la más importante, donde las proteínas de alto peso molecular pueden disociarse en subunidades más pequeñas, como consecuencia aumenta su solubilidad en agua, particularmente en condiciones de alta temperatura y esfuerzo de cizalla. A su vez, se generan más sitios accesibles al ataque enzimático (proteasas), lo cual favorece de manera positiva el grado de digestibilidad del producto (Altan y Maskan, 2012).

Por su parte, cabe señalar que la mayoría de snacks a base de almidón se caracterizan por un deficiente perfil de aminoácidos, sin embargo la adición de proteínas a las formulaciones de alimentos, mejoran el valor nutricional de los snacks extruidos, debido a la incorporación de aminoácidos esenciales incluida la lisina, que es el aminoácido más limitante en los cereales (Philipp, Buckow, Silcock y Oey, 2017).

Sin embargo, es necesario señalar que al someter las materias primas a elevadas temperaturas de extrusión, se da origen a reacciones de Maillard, dónde los azúcares reductores, incluidos los formados por cizallamiento del almidón y la sacarosa, reaccionan con la lisina de tal manera que disminuyen el valor nutricional de la proteína (Guy, 2001).

Asimismo, Navale et al. (2015) manifiestan que se puede producir una gran pérdida de lisina cuando las mezclas de leguminosas o cereales se procesan bajo condiciones severas de temperatura ( $\geq 180^{\circ}\text{C}$ ) o fuerzas de corte ( $>100$  rpm) a baja humedad ( $\leq 15\%$ ), especialmente en presencia de azúcares reductores (23% glucosa, fructosa, maltosa, lactosa).

Por otra parte, incrementar el contenido de proteína en la combinación de ingredientes alimenticios, produce efectos desfavorables en la textura, expansión, y rendimiento del producto, ya que la proteína posee características viscoelásticas inferiores al almidón (Moscicki, 2011). Además, Guy (2001) menciona que en la extrusión la proteína actúa como relleno en el extruido, debido a que las proteínas se dispersan libremente desde sus cuerpos nativos en la masa del producto extruido.

**Lípidos:** La extrusión ha sido utilizada, generalmente, en la extracción de aceite de semillas oleaginosas ya que el aceite se libera durante la cocción y operaciones de cizallamiento (Altan & Maskan, 2012).

No obstante, en el procesamiento de alimentos almidonosos el contenido de lípidos es bajo, los cuales incluidos los monoglicéridos, los ácidos grasos y sus ésteres, tras someterse a altos esfuerzos de cizalla en la extrusión, forman complejos con fracciones de amilosa del almidón. Por lo tanto, la mayor parte del contenido

lipídico es retenido en el extruido. Dicho cambio, se produce al incrementar el tiempo de residencia y la viscosidad del fundido (Singh et al., 2007).

Por otra parte, las elevadas temperaturas de extrusión producen la desnaturalización de las lipasas, de manera que impiden la hidrólisis de los triglicéridos y consecuentemente la oxidación de ácidos grasos libres retenidos dentro del almidón, por lo tanto, aumenta la calidad nutricional y sensorial de los extruidos (Guy, 2001).

**Fibras:** El efecto de la extrusión en caliente sobre la fibra del material alimenticio puede producir cambios en sus características estructurales y físico-químicas. En efecto, al extruir mezclas con bajos contenidos de humedad (<20%) a altas temperaturas de extrusión (>110°C), se produce un daño al material alimenticio por la efecto del alto esfuerzo de cizalla generado y consecuentemente la conversión de una gran parte de la fibra insoluble a fibra soluble (Moscicki, 2011).

Tal efecto resulta de la ruptura de los enlaces covalentes y no-covalentes entre los carbohidratos y las proteínas asociadas a la fibra, resultando en fragmentos moleculares más pequeños y más solubles. En otras palabras, aumenta el Índice de solubilidad en Agua (ISA) del producto extruido (Ramachandra y Thejaswini, 2015).

Además, durante el proceso de extrusión el contenido de fibra dietética de las materias primas aumenta por efecto de la severidad del procesamiento. Por otra parte, la fibra también forma complejos con el almidón, mismos que son resistentes a la digestión humana, lo cual es importante en la salud humana (Altan & Maskan, 2012)

**Vitaminas:** La estabilidad de las vitaminas durante la extrusión es variable. Por lo tanto, su nivel de degradación depende de varios parámetros de procesamiento, tales como: el nivel de humedad, elevadas temperaturas, grado de cizallamiento y el tiempo de residencia. Es así que, el corto tiempo de residencia del extruido y el enfriamiento rápido del producto a la salida de la matriz, permiten reducir las pérdidas de vitaminas y aminoácidos esenciales (Steel et al., 2012)

Por su parte, las vitaminas liposolubles, A, D, E y K, en particular, son bastante estables; mientras, las vitaminas hidrosolubles, como la vitamina C o del grupo B, pueden ser inestables durante la extrusión. Tales efectos han sido atribuidos debido al elevado contenido de humedad en el material alimenticio (Singh, Gamlath, & Wakeling, 2007).

**Minerales:** El contenido de minerales del material alimenticio, debido a su baja actividad, sufre una ligera disminución en el proceso de extrusión (Mian y Galen, 2012). Asimismo, la posible disminución en el contenido de minerales del material alimenticio durante la extrusión, se debe su participación en diferentes interacciones con distintos elementos y nutrientes como la proteína y la fibra dietética (Pismag, Cerón, Guerra, Legarda y Enríquez, 2016).

Sin embargo, el uso de alimentos con altos contenidos de fibra y severas condiciones de extrusión, puede generar un aumento en el contenido de minerales debido a un incremento en el contenido de hierro por desgaste del cañón como consecuencia de la fricción producida con el alimento (Altan y Maskan, 2012).

## **2.7 PARÁMETROS DE CALIDAD DEL PRODUCTO EXTRUIDO**

### **2.7.1 PROPIEDADES FÍSICAS**

**Expansión:** Se considera una de las propiedades más importantes en la industria de productos extruidos. La expansión y la textura son parámetros que se encuentran relacionados de manera directa, los cuales dependen, principalmente, de la composición del material y de las condiciones de procesamiento. Así, el almidón (contenido, tipo y composición) del material alimenticio es el mayor responsable de la expansión del producto, donde, la amilopectina y la amilosa influyen positivamente en la expansión y textura (crujencia) del producto, respectivamente.

Además, dicha propiedad depende en gran medida de la intensidad de vaporización del agua, de las propiedades visco-elásticas de la masa fundida, de las características nucleantes, así también, de las propiedades plastificantes del almidón en la

transición de fluidos (fundidos) a viscoelásticos y, posteriormente, a un estado vítreo (Altan y Maskan, 2012).

Por otra parte, es necesario señalar que la expansión del producto extruido ocurre en las direcciones radial y longitudinal, dependientes de la elasticidad y de la viscosidad del material fundido, respectivamente. Cabe señalar que la amilopectina y amilosa son los responsables de las citadas propiedades, respectivamente. No obstante, la expansión radial se considera la medición más importante ya que refleja la expansión global y además es fácil su determinación (Altan y Maskan, 2012)

Asimismo, el aumento en la expansión de los productos extruidos se atribuye al aumento en el esfuerzo de cizalla dentro del equipo, usualmente debido a la combinación de baja humedad del material alimenticio y alta temperatura de extrusión, lo cual permite generar masas elásticas con mayor viscosidad. Como consecuencia, produce un diferencial de presión elevado entre el equipo y el medio ambiente, resultando en la generación de burbujas de aire a la salida del extrusor y, a la vez, la evaporación instantánea e inmediata de la humedad del extrudido (Zazueta-Morales, Jacobo-Valenzuela, Aguilar-Palazuelos, Limón-Valenzuela, & Camacho-Hernández, 2011).

Por otra parte, Guy (2001) indica que la combinación de ingredientes alimenticios con contenidos de almidón superiores al 60%, generan extruidos con altos índices de expansión, debido a que las propiedades viscoelásticas del almidón generan estructuras con mayor número de poros y tamaño.

Al contrario, al utilizar materiales con altos contenidos de proteína y fibra disminuye el grado de expansión en los productos extruidos, debido a que éstos nutrientes compiten con las fracciones de almidón por el agua libre que se encuentra en la matriz, de manera que producen un retraso en la gelatinización del almidón (Shirani y Ganesharanee, 2009).

**Densidad Aparente:** Es un índice que permite medir los cambios estructurales que se produjeron en el material que rige la expansión, es decir en la amilosa y la amilopectina del almidón presente en la materia prima. Esta propiedad se encuentra relacionada de manera inversamente proporcional con el índice de expansión del

producto extruido y además, se considera un parámetro de calidad importante en la industria de alimentos extruidos expandidos (Altan y Maskan, 2012).

Generalmente, los snacks que presentan baja densidad se caracterizan por tener estructuras bien expandidas, las cuales están conformadas por células grandes y paredes delgadas (Pérez et al., 2017)

Por otra parte, Singh y Majumdar (2012) encontraron en su investigación que los factores de mayor efecto en la densidad aparente del producto extruido fueron; la formulación de materiales alimenticios, el nivel de humedad y la temperatura de extrusión.

En efecto, la densidad aparente del extruido aumenta al incrementar materias primas con altos contenidos en proteína, lípidos, fibra y azúcares a la mezcla de materiales almidonosos. Debido a que la proteína y la fibra reducen la captación de agua libre al almidón, mientras que los lípidos y los azúcares como la sacarosa actúan como lubricantes en la extrusión. Como consecuencia, disminuye el grado de gelatinización del almidón y promueve la creación de extruidos con estructuras compactas y duras (Kasprzak et al., 2013).

Asimismo, al procesar mezclas de materiales alimenticios con altos contenidos de humedad a bajas temperaturas extrusión, reducen el esfuerzo de cizalla y por ende la cantidad de energía mecánica. Por tanto, el grado de fusión del almidón disminuye y la densidad del producto aumenta (Guy, 2001; Moscicki, 2011).

### **2.7.2 PROPIEDADES FUNCIONALES**

**Índice de absorción de agua (IAA):** El IAA es una medida del grado de gelatinización del almidón y la capacidad de absorción de agua de los componentes del material después del proceso de extrusión (Contreras-Jiménez, Morales-Sánchez, Reyes-Vega, y Gaytán-Martínez, 2014). Este índice permite inferir las condiciones de proceso más adecuadas para lograr una mayor hidratación, solubilización y desarrollo de una textura viscoelástica (Pismag et al., 2016).

Por su parte, Altan y Maskan (2012) indican que un aumento en el grado de desnaturalización de proteínas, gelatinización del almidón e hinchamiento de la

fibra cruda, que se produce durante la extrusión, podrían ser responsables del incremento del IAA en los productos extruidos.

Por tanto, un aumento en el IAA de los extruidos podría estar relacionado con la presencia de almidón dañado (gelatinización del almidón), efecto que se atribuye principalmente a las elevadas temperatura de extrusión (110-140°C), y materiales con bajos niveles de humedad (<20%) (Ding et al., 2006).

Por otra parte, la posible disminución del IAA en el extruido por efecto del aumento de la temperatura del barril, se atribuye al aumento de la degradación del almidón (dextrinización), particularmente, la formación de maltodextrinas las cuales son solubles en un medio acuosos (Bouvier y Campanella, 2014).

**Índice de solubilidad en agua (ISA):** El ISA está relacionado con la cantidad de sólidos solubles en el extruido y refleja el grado de severidad del proceso térmico en función de la degradación, gelatinización, dextrinización y consecuente solubilización del almidón presente en la formulación (Contreras-Jiménez et al., 2014).

Es decir, mide el grado de conversión del almidón durante la extrusión, que es la cantidad de polisacárido soluble liberado particularmente del almidón después de la extrusión (Ding et al., 2005). Además, determina la cantidad de proteínas sin desnaturalizar (Bouvier y Campanella, 2014).

Por lo tanto, la mayor cantidad de polisacárido soluble, mayor ISA, en el producto extruido se produce al incrementar el esfuerzo de cizalla al interior del extrusor, efecto generado particularmente al utilizar mezclas alimenticias con bajos contenidos de humedad y procesar a alta temperatura de extrusión y velocidad del tornillo (Navale et al., 2015). En efecto, cuanto más severo sea el proceso de extrusión, el almidón sufrirá mayor degradación (dextrinización). Por consiguiente, aumenta la cantidad de almidón soluble y consecuentemente el ISA del producto (Altan y Maskan, 2012).

Asimismo, la incorporación de materiales alimenticios con altos contenidos de fibra, aumentan el ISA del extruido, ya que durante la extrusión la fibra aumenta su solubilidad (Guy, 2001)

Además, la creación de complejos moleculares entre el almidón degradado, las proteínas y los lípidos causan un aumento en el peso molecular de los complejos generados, lo cual disminuye la solubilidad de las mismas (Altan y Maskan, 2012).

### **2.7.3 ANÁLISIS DE TEXTURA**

Es uno de los parámetros de calidad más importantes para la industria y el consumidor. Generalmente, se considera como un factor crítico en la clasificación de calidad y comercialización de alimentos sólidos (Lu, 2013).

De hecho, la aceptación de los alimentos por los consumidores, está muy relacionado con la percepción sensorial de los mismos, y es común que existan alimentos altamente nutritivos, pero con baja aceptación por los consumidores. De ahí la importancia de la evaluación sensorial en los alimentos, siendo ésta una técnica de medición tan importante como los métodos químicos, físicos y microbiológicos (Olivas-Gastélum, Nevárez-Moorillón y Gastélum-Franco, 2009).

Por lo tanto, la textura se define como la manifestación sensorial de la estructura de los alimentos, la cual representa la unión de todos los atributos mecánicos, geométricos y superficiales de un producto, detectados por medio de receptores mecánicos, táctiles y, si es conveniente, visuales y auditivos (Szczesniak, 2002).

Anteriormente, la textura de un alimento se caracterizaba como una percepción sensorial, denominándola por encima de todas las cosas una experiencia humana. Hoy en día, gracias a la correlación presentada entre el ser humano y los equipos, la textura de un alimento puede ser medida tanto por pruebas subjetivas intrínsecas (sensoriales) como por medios objetivos (instrumental) (Paula y Conti-silva, 2014).

#### **➤ Textura sensorial descriptiva**

En la actualidad, las técnicas de evaluación sensorial tienen fundamento científico al igual que otros tipos de análisis, debido al respaldo de la estadística, la psicología y otras disciplinas (Olivas-Gastélum, Nevárez-Moorillón y Gastélum-Franco, 2009).

Sin embargo, la textura de los alimentos es un término difícil de definir, debido a que se define como la percepción global del ser humano sobre un alimento, cuando

este ejerce la fuerza o deformación necesaria para producir cambios o interrupción en la estructura de los alimentos (Lu, 2013)

En el análisis sensorial, la boca percibe características que incluyen atributos mecánicos (en relación a la reacción de la fuerza aplicada), atributos geométricos (relativas a la forma, tamaño y orientación de la partícula al interior del alimento) y atributos relativos a percepción del contenido de humedad o grasa (Paula y Contisilva, 2014).

Además de las percepciones obtenidas en la boca, en la manipulación de productos con los dedos y las manos, se puede generar respuestas texturales a partir de información visual (textura visual) e información que surge de los sonidos emitidos al manipular y masticar los productos (Kilcast, 2013).

En la industria de snacks extruidos expandidos, los atributos sensoriales utilizados para determinar el perfil de textura de un producto son: la dureza, la crujencia y la fracturabilidad (Ding et al., 2006). Adicionalmente, la correlación entre la dureza y la densidad aparente como también la crujencia y la expansión seccional de los productos extruidos se han observado en diferentes estudios (Ding et al., 2006; Majumdar y Singh, 2012).

**Dureza:** Se denomina a 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 y Maskan, 2012).

**Crujencia:** 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 y Maskan, 2012).

**Fracturabilidad:** Se señala a la fuerza necesaria para romper los snacks extruidos. Este atributo se relaciona con la dureza, siendo los snacks extruidos más deseables aquellos que presentan valores bajos (Altan y Maskan, 2012).

Con base a lo citado anteriormente, en la Tabla 14 se presentan los principales atributos de textura sensorial en snacks extruidos, con sus respectivas definiciones.

**Tabla 14.** Definiciones y referencias para atributos sensoriales de los snacks extruidos

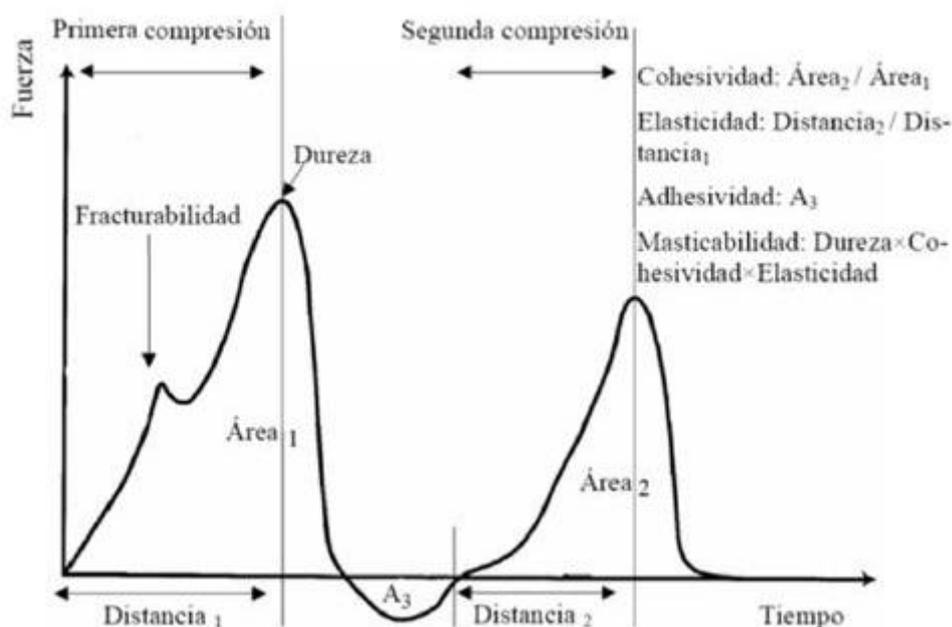
Atributo Sensorial	Definición	Referencias
Dureza	Fuerza aplicada por los dientes molares para comprimir los alimentos.	Bajo: Panecillos blandos del tamaño de un dedo Alto: Caramelos duros
Crujencia	Ruido de los alimentos durante la masticación.	Bajo: Panecillos blandos del tamaño de un dedo Alto: Cereales para desayuno
Adherencia	Capacidad de los alimentos para adherirse a los dientes cuando se mastica	Bajo: Rodajas de zanahoria con grosor 2 mm. Alto: Caramelo dulce con leche caramelizada (Arcor)
Fracturabilidad	Posibilidad de romper los alimentos en pedazos cuando se muerden utilizando los incisivos	Bajo: Rodajas de zanahoria con grosor 2 mm Alto: Tostada comercial
Masticabilidad	Número de veces masticables necesarios para tragar los alimentos	- -

Fuente: (Paula y Conti-silva, 2014)

### ➤ Textura instrumental

Entre los dispositivos de ensayo instrumentales que permiten realizar un análisis de perfil de textura (TPA) en determinado producto están los texturómetros, que imitan las condiciones de masticación y de cual se obtiene una curva basada en las variables fuerza-tiempo (Figura 5), donde la fuerza máxima durante la primera compresión se estima que es la dureza y la fuerza alcanzada en el primer pico de la curva atribuye a la fracturabilidad del producto (Altan & Maskan, 2012).

Estas pruebas instrumentales presentan excelentes correlaciones con evaluaciones sensoriales de la textura. Por esta razón, han sido ampliamente utilizados para medir la textura de diferentes tipos de alimentos, ya que proporciona resultados rápidos y relativamente económicos sobre las características del producto y la aceptación del consumidor (Anton y Luciano, 2007).



**Figura 5.** Grafica General del análisis del Perfil de Textura

Fuente: (Hleap & Velasco, 2010)

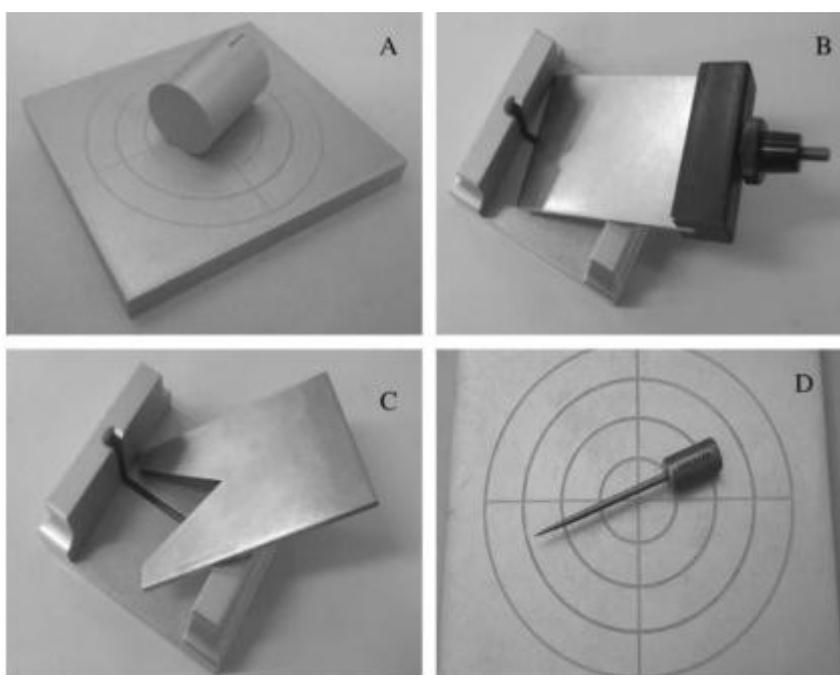
Por otra parte, es necesario señalar que a diferencia del aparato sensitivo del cuerpo humano, los dispositivos de medida instrumental utilizan transductores que convierten las medidas materiales y físicas en salidas visuales o eléctricas, las cuales se observan directamente o se graban en un equipo, que posteriormente son analizados utilizando métodos estadísticos (Kilcast, 2013).

En la evaluación de textura instrumental, la instrumentación a utilizar depende del ensayo a realizar, para un ensayo mecánico, a menudo se involucra indicadores de tensión y celdas de carga para medir las fuerzas de deformación (Lu, 2013).

Cabe señalar que la relación fuerza / deformación para la mayoría de los materiales alimenticios depende del tiempo o la velocidad de carga. Donde, la fuerza, la

deformación y el tiempo son las tres variables básicas utilizadas en el estudio de las propiedades mecánicas de los alimentos. Por su parte, la fuerza, a menudo expresada en N (newton) y se considera una variable externa, puesto que actúa o se mide en la superficie de un objeto (Lu, 2013).

Para evaluar la textura en productos extruidos, generalmente, se han utilizado pruebas de corte, compresión y punción (figura 6) (Conti-Silva, Bastos y Arêas, 2012).



**Figura 6.** Sondas de texturómetro. A) Sonda cilíndrica de aluminio (compresión); B) Cuchilla de corte con sonda de guillotina; C) Cuchilla de corte con sonda de forma en “V”; D) Sonda de aguja (punción).

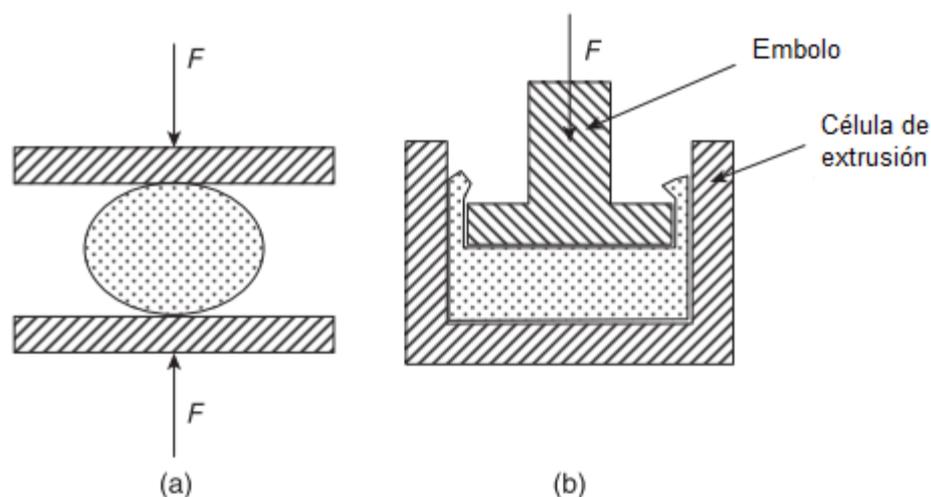
**Fuente:** (Paula & Conti-silva, 2014)

### **Prueba de punción**

La prueba de punción mide la fuerza requerida para que una sonda penetre en una muestra de alimento a una profundidad específica. Esta prueba implica tanto la compresión como el corte de una muestra de alimento. De hecho, se considera una técnica empírica que es algo imitativa de la mordedura de un alimento en la boca. Generalmente, esta prueba relaciona a la dureza del producto. Las mediciones de la punción dependen de varios factores, como el tamaño y la forma de la sonda, el tipo de alimento y la velocidad de carga (Lu, 2013).

## Prueba de compresión

La compresión se utiliza ampliamente para medir las propiedades mecánicas básicas de una gran variedad de alimentos sólidos, incluidas las frutas, verduras, granos y alimentos procesados (Lu, 2013).



**Figura 7.** Dos tipos de pruebas de compresión: (a) la prueba de compresión uniaxial entre dos placas y (b) la prueba de compresión confinada o de extrusión simple

Fuente: (Lu, 2013)

En la medición de la textura de alimentos sólidos, a menudo se utilizan dos tipos de compresión: la prueba de compresión uniaxial de muestras de alimentos entre dos placas y la prueba de compresión confinada, como la extrusión (Figura 7). La prueba de compresión uniaxial es la prueba más fácil de realizar. En estas se aplica la fuerza a la muestra en una dirección y se permite que la muestra se expanda libremente en las otras dos direcciones. La muestra se comprime hasta que se rompe o se tritura completamente. Por tanto, la porción inicial de la curva de fuerza/deformación se puede usar para estimar el módulo de elasticidad de la muestra de alimentos. De hecho, esta prueba permite medir la dureza de los granos de trigo (Lu, 2013).

Por su parte, esta prueba junto con la prueba de punción, reflejan resultados similares, debido a que sus funciones son de comprimir y fracturar el producto, similar a la función que cumplen los dientes molares del ser humano. Por tanto, se

puede considerar que dichas pruebas permiten determinar la dureza de un producto extruido (Anton y Luciano, 2007).

### **Prueba de corte**

Esta prueba se enmarca a la acción de aplicar la fuerza necesaria para cortar un objeto en dos partes separadas. Generalmente, el proceso de medición implica cizallamiento, tensión y compresión en el alimento (Lu, 2013)

Efectivamente, las pruebas de corte presentan una función similar a la que cumplen los dientes incisivos del ser humano, que es de romper o quebrar el producto alimenticio (Szczesniak, 2002). Por lo tanto, las pruebas de corte han sido relacionadas con la fracturabilidad y crujencia del extruido (Paula & Conti-silva, 2014)

Sin embargo, a pesar de los resultados alcanzados en las distintas investigaciones, aún no se logra un consenso de qué términos deben usarse para describir los atributos de textura, diagnosticados en snacks extruidos mediante pruebas instrumentales y si estos términos pueden correlacionarse con la textura sensorial. No obstante, los términos más utilizados para describir la textura de extruidos expandidos son: dureza, crujencia, fracturabilidad y adherencia (Ding et al., 2006; Nascimento, Carvalho, Takeiti, Freitas, y Ascheri, 2012).

## **CAPÍTULO III**

### **MATERIALES Y MÉTODOS**

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

La presente investigación se realizó en el Departamento de Nutrición y Calidad del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Estación Experimental Santa Catalina, ubicada en el sector de Cutuglagua, Cantón Mejía, Provincia Pichincha.

Los análisis físico-químicos de los productos extruidos se realizaron en el Laboratorio de Análisis Físicoquímico y Microbiológico de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Técnica del Norte.

#### **3.2 MATERIALES Y EQUIPOS**

##### **3. 2.1 Materias primas:**

- Grits maíz duro amarillo *Zea mays*
- Grits Chocho *Lupinus mutabilis Sweet* variedad Andino 450
- Grits papa *Solanum tuberosum* variedad súper chola

##### **3. 2. 2 Equipos**

- Extrusor de un solo tornillo
- Deshidratador de bandejas

- Molino
- Balanza analítica
- Balanza infrarroja
- Baño maría
- pH metro
- Mufla
- Desecador
- Espectrofotómetro
- Termómetro
- Centrifuga
- Texturómetro

### **3.2.3 Materiales**

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

- Crisoles
- Agitador magnético
- Mortero y pistilo
- Calibrador analítico pie de rey
- Papel filtro
- Selladora

### 3.3 MÉTODOS

#### 3.3.1 FACTORES EN ESTUDIO

En la presente investigación se planteó los siguientes factores de estudio (Tabla 15):

**Tabla 15.** Factores de estudio

<b>Factor A:</b>	<b>Fórmula de la mezcla</b>
	<b>A1:</b> 70% Maíz + 15% chocho + 15% papa
	<b>A2:</b> 80% Maíz + 10% chocho + 10% papa.
<b>Factor B:</b>	<b>Humedad de la mezcla</b>
	<b>B1:</b> 15%
	<b>B2:</b> 20%
<b>Factor C:</b>	<b>Temperatura de extrusión</b>
	<b>C1:</b> 110°C
	<b>C2:</b> 140°C
<b>Factores Constantes</b>	<b>Diámetro de la boquilla:</b> 2,5 mm
	<b>Velocidad del tornillo:</b> 300 rpm
	<b>Alimentación:</b> 3kg

### 3.3.2 TRATAMIENTOS

Tabla 16. Nomenclatura de tratamientos

TRATAMIENTOS	FACTOR A Fórmula de la mezcla	FACTOR B Humedad de la mezcla	FACTOR C Temperatura de Extrusión	SIMBOLOGÍA
T1	A1	B1	C1	A1B1C1
T2	A1	B1	C2	A1B1C2
T3	A1	B2	C1	A1B2C1
T4	A1	B2	C2	A1B2C2
T5	A2	B1	C1	A2B1C1
T6	A2	B1	C2	A2B1C2
T7	A2	B2	C1	A2B2C1
T8	A2	B2	C2	A2B2C2
T9	TESTIGO			

### 3.3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

En este estudio se utilizó un Diseño Experimental Completo al Azar con un arreglo factorial A x B x C+1. El número de tratamientos fué de 8 más 1 testigo, con tres repeticiones para cada tratamiento, dando un total de 27 unidades experimentales.

### 3.3.4 CARACTERÍSTICAS DEL EXPERIMENTO

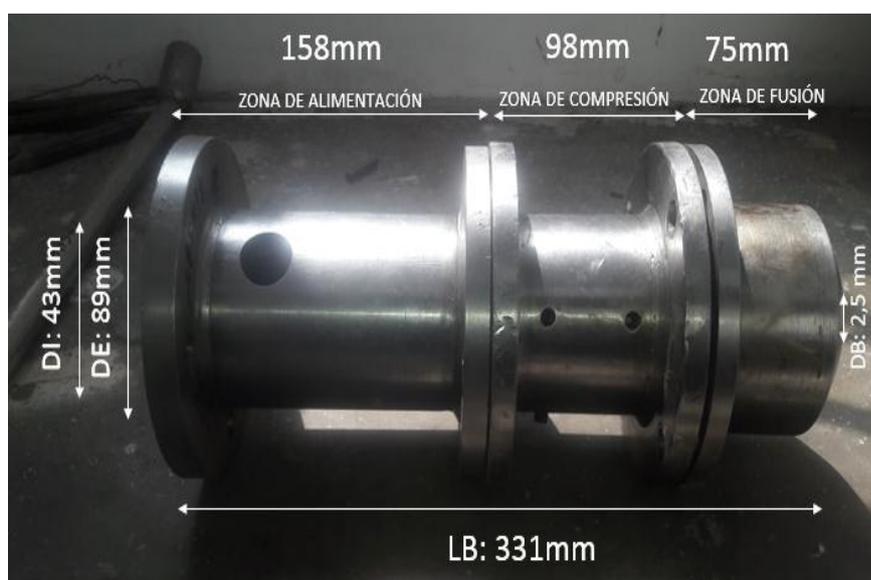
- Número de Repeticiones: 3
- Tratamientos: 9
- Unidades experimentales: 27

Cada unidad experimental se conformó por 3kg (mezcla de grits de maíz, chocho y papa), para la obtención de los snacks extruidos.

El proceso de extrusión se llevó acabo en un extrusor de un solo tornillo con las especificaciones detalladas en la Tabla 17 y las Figuras 8 y 9.

**Tabla 17.** Parámetros de funcionamiento del extrusor

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



**Figura 8.** Caracterización del barril

Donde:

LB: Largo del barril

DI: Diámetro interno del barril

DE: Diámetro externo del barril

DB: Diámetro de la boquilla



**Figura 9.** Caracterización del tornillo

Donde:

Ds: Diámetro del tornillo

D: Diámetro raíz

P: Paso o ancho del canal

L: Longitud del tornillo

H: Profundidad del canal

### 3.3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

**Tabla 18.** DCA AxBxC+1

<b>Fuentes de variación</b>	<b>G.L.</b>
Total	26
Tratamientos	8
Factor A (Fórmula de la mezcla)	1
Factor B (Humedad de la mezcla)	1
Factor C (Temperatura de extrusión)	1
A x B	1
A x C	1
B x C	1
A x B x C	1
Testigo vs resto	1
Error experimental	18

Se realizó el análisis de varianza para cada una de las variables de respuesta.

Para los tratamientos se utilizó la prueba de Tukey al 5% y para los factores en los que se verificó significancia estadística se empleó la prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS).

Para las variables no paramétricas (color, olor, sabor y textura) se evaluó mediante la prueba de Friedman al 5% empleando el estadístico Ji- cuadrado.

### 3.4 VARIABLES EVALUADAS

#### 3.4.1 PROPIEDADES FISICO-QUÍMICO DE LAS MATERIAS PRIMAS

Anterior al proceso de extrusión, se realizó los siguientes análisis en las materias primas (Tabla 19):

**Tabla 19.** Métodos de análisis aplicados en los grits (maíz, chocho y papa)

<b>Parámetros</b>	<b>MÉTODO</b>
Humedad	AOAC 930.15
Proteína	AOAC 955.39
Extracto etéreo	AOAC 920,85
Cenizas	AOAC 923.03
Fibra	AOAC 978.10
Carbohidratos	Cálculo
Almidón	Polarimetría
Amilosa	Marrison y Laignelet
Amilopectina	Cálculo

#### ➤ **Humedad**

Se determinó mediante el método 930.15, A.O.A.C.

#### **Fundamento**

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

## Procedimiento

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

## Cálculos

Se utilizó la siguiente ecuación:

$$\%H = \frac{P_{cmh} - P_{cms}}{P_{cmh} - P_c} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

% H= Porcentaje de humedad

P<sub>c</sub>= Peso del crisol

P<sub>cmh</sub>= Peso del recipiente más muestra húmeda

P<sub>cms</sub>= Peso del recipiente más muestra seca

### ➤ **Proteína**

Se determinó mediante el método 920.152, A.O.A.C

## Fundamento

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

## Procedimiento

### Digestión

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

### Destilación

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

### Titulación

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

### Cálculos

Se utilizó la siguiente ecuación:

$$\% P = \frac{(Ma - Mb) \times N \times 0,014 \times 6,25}{Pm} \times 100 \quad (2)$$

Donde:

%P= Contenido de proteína (%)

N= Normalidad del ácido titulante

Ma= ml de ácido gastado en la titulación de la muestra

Mb= ml de ácido gastado en la titulación del blanco

Pm= Peso de la muestra en gramos

6,25= Factor de conversión de nitrógeno a proteína

### ➤ **Extracto etéreo**

Se determinó mediante el método 920.39, A.O.A.C.

#### **Fundamento**

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

#### **Procedimiento**

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

#### **Cálculos**

Se utilizó la siguiente la ecuación:

$$EE = \frac{P_{vr} - P_v}{P_m} \times 100 \quad (3)$$

Dónde:

EE= Extracto etéreo (%)

P<sub>v</sub>= Peso del vaso tarado

P<sub>vr</sub>= Peso del vaso más residuo

P<sub>m</sub>= Peso de la muestra

### ➤ **Cenizas**

Se utilizó el método 940.26, A.O.A.C.

#### **Fundamento**

La muestra se incinera en una mufla a 600° C, previa pre-calcinación en la placa calentadora, para eliminar todo material orgánico. El material inorgánico que no se destruye se llama ceniza o residuo remanente.

#### **Procedimiento**

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

#### **Cálculos**

Se utilizó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Cenizas totales} = \frac{P_{cz} - P_c}{P_m} \times 100 \quad (4)$$

Dónde:

P<sub>c</sub>= Peso del crisol.

P<sub>cz</sub>= Peso del crisol más cenizas

P<sub>m</sub>= Peso de la muestra en gramos.

### ➤ **Fibra Bruta**

Se utilizó el método 920.86, A.O.A.C.

#### **Principio**

Una muestra libre de humedad (menos 20 %) y grasa (menos 12 %) se digiere primero con una solución ácida y luego con una solución alcalina; los residuos orgánicos restantes, se recogen en un crisol filtro. La pérdida de peso después de incinerar la muestra, se denomina fibra cruda.

## Procedimiento

- Se pesan de 1 a 2 g de muestra en un vaso de 600 ml, se añade 200 ml de ácido sulfúrico al 7 % y 1 ml de alcohol isoamílico.
- Se digiere por 30 minutos y se agrega 20 ml de hidróxido de sodio al 22 % y se vuelve a digerir por 30 minutos más, disminuyendo la temperatura.
- Se recoge la fibra en crisoles filtrantes previamente lavados en cuya base se ha depositado una capa de lana de vidrio hasta la mitad del crisol aproximadamente.
- Se lava con agua desmineralizada caliente, con 10 ml de ácido sulfúrico al 7 por mil y 20 ml de hexano, terminándose los lavados de la fibra con agua.
- Se seca en una estufa a 105° C por 8 horas (preferible una noche), se retira en un desecador se enfría y se pesa.
- Calcinar en una mufla por 4 horas a 600° C, retirar en un desecador enfriar y pesar

## Cálculos

Se utilizó la siguiente ecuación:

$$\%Fibra \frac{P_{cf}-P_{cc}}{P_m} \times 100 \quad (5)$$

Dónde:

P<sub>cf</sub>= Peso del crisol + muestra, desecados a 105°C

P<sub>cc</sub>= Peso del crisol + muestra, después de la incineración

P<sub>m</sub>= Peso de la muestra en gramos

### ➤ Carbohidratos totales

El contenido de carbohidratos se determinó a partir de la composición proximal con la siguiente ecuación:

$$\%C. T = 100 - (\%Humedad + \%Proteína + \%Extracto Etéreo + \%Cenizas) \quad (6)$$

## ➤ Contenido de Almidón

Se utilizó el Método Polarimétrico, citado por Harold et al., (1988).

### Fundamento

El método comprende dos determinaciones. En la primera, la muestra se trata con el ácido clorhídrico diluido y caliente. Después de la clarificación y filtración, se mide la rotación del blanco que es muestra con HCL al 25%, después se clarifica, se filtra y se mide la rotación óptica en las mismas condiciones que en la primera determinación.

### Procedimiento

#### Para la muestra:

- Secar la muestra a 65°C y molerla, pesar 2.5 g en un balón de 50 ml. Agregar 25 ml de HCL 0.31N y agitar por 15 minutos. Llevar a baño de agua hirviendo por 15 minutos con agitación continua. Enfriar.
- Adicionar 0.5ml de solución I y 0.5 ml de solución II agitando el balón. De ser necesario repetir ese paso las veces que sean necesarias para obtener una solución transparente y cristalina.
- Aforar el balón con agua destilada. Centrifugar y filtrar. Desechar los primeros mililitros del filtrado. Llenar el tubo de 200 mm con el filtrado y leer en el polarímetro.

#### Para el Blanco:

- Pesar 5 g de muestra molida en un balón de 50 ml. agregar 40 ml de agua destilada y agitar por 15 minutos. Adicionar 1 ml de Solución I y de la solución II, agitar. Aforar el balón con agua destilada, centrifugar en tubos y filtrar. Tomar 25 ml del filtrado en un balón de 50 ml, añadir 1 ml de ácido clorhídrico al 25% y llevar a baño de agua hirviendo por 15 minutos con agitación continua. Enfriar y aforar. Si la solución esta turbia centrifugar y filtrar.

### Cálculos:

Se utilizó la siguiente ecuación:

$$\% \text{ almidón} = (a-b) f \quad (7)$$

Dónde:

a= ángulo de rotación de la muestra en grados.

b= ángulo de rotación del blanco en grados.

f= factor del almidón

#### ➤ **Amilosa**

Se determinó mediante el Método de Marrison y Laignelet (2000). Adaptado en el Dpto. de Nutrición y Calidad del INIAP.

#### **Fundamento**

La fracción de amilosa tiene afinidad para formar complejos con yodo. El complejo coloreado puede ser cuantificado colorimétricamente.

#### **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 determinó mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Amilopectina} = \% \text{ Almidón} - \% \text{ Amilosa} \quad (8)$$

### 3.4.2 VARIABLES EVALUADAS AL PRODUCTO FINAL

En el producto extruido se determinó las siguientes variables cuantitativas: físico-químicas, funcionales e instrumentales, según los métodos presentados en las Tablas 20, 21 y 22, respectivamente. Todos los análisis fueron realizados por el autor.

**Tabla 20.** Métodos de análisis físico-químico

<b>Parámetros</b>	<b>METODO</b>
Proteína	AOAC 920.87
Extracto etéreo	AOAC 920.39
Humedad	AOAC 930.15
Cenizas	AOAC 923.03
Carbohidratos	Cálculo
Fibra	AOAC 978.10

#### ➤ **Propiedades Funcionales**

**Tabla 21.** Métodos de análisis de propiedades funcionales

<b>PARÁMETRO</b>	<b>MÉTODO</b>
Índice de Expansión	Cálculo
Densidad Aparente	Cálculo
Índice de Absorción de Agua	Técnica usada (Anderson <i>et al.</i> , 1969)
Índice de Solubilidad en agua	Técnica usada (Anderson <i>et al.</i> , 1969)
Índice de Digestibilidad de la Proteína	Técnica usada (Hsu <i>et al.</i> , 1977)
Aminoácidos	Watanabe, 1988

### ➤ Índice de Expansión Seccional (IE)

#### Fundamento

Se determinó mediante la medición de manera radial utilizando un calibrador pie de rey de alta precisión, siendo el resultado tomado por la diferencia entre el diámetro del material extruido y el diámetro de la matriz (ecuación 9) (Ding, Ainsworth, Tucker, y Marson, 2005). Se utilizó 10 muestras de cada material extruido para el cálculo promedio.

$$IE = \frac{\text{Diámetro promedio de la muestra (mm)}}{\text{diámetro de la boquilla (mm)}} (\%) \quad (9)$$

### ➤ Densidad aparente (DA)

#### Fundamento

Es un índice de los cambios estructurales que ocurre en el material que rige la expansión, es decir que la relación amilosa/amilopectina del almidón presente en la materia prima, gobernarán el empaque del gránulo a nivel ultramolecular.

Se cortaron 5 piezas de snacks extruidos cada uno de 5 cm de longitud para cada muestra. Se determinó el peso de cada muestra en una balanza analítica y se midió por triplicado el diámetro de cada pieza con un Calibrador pie de rey (Lo, Moreira, y Castell-Perez, 1998). Se determinó mediante la ecuación 10.

$$DA = \frac{\text{Peso muestra}}{\pi \left( \frac{\text{diámetro muestra}}{2} \right)^2 \text{Longitud muestra}} \left( \frac{g}{cm^3} \right) \quad (10)$$

### ➤ Índice de Absorción de Agua (IAA) e Índice de Solubilidad en Agua (ISA)

Se utilizó la metodología descrita por Anderson *et al.* (1969). Donde una porción de 4 a 5 g de cada muestra se suspendieron en 30 ml de agua destilada en un tubo de centrífuga tarado de 60 ml. La suspensión se homogenizó con una varilla de vidrio, por 1 min a 25°C, y se centrifugó a (3000 rpm x g, a 25°C, 10 min). El sobrenadante se colocó en un disco tarado y se secó a 110°C durante 12 h. El precipitado retenido en los tubos se pesó en una balanza analítica. El IAA se calculó mediante el cociente del peso del gel obtenido después de la eliminación del

sobrenadante con respecto al peso de sólidos secos originales (11), los resultados se expresaron de manera adimensional. El ISA se determinó mediante la relación del peso de los sólidos secos recuperados al evaporar el sobrenadante con respecto al peso original de la muestra (12), los resultados fueron expresados en porcentaje. Las determinaciones se realizaron por triplicado.

$$\text{IAA: } \frac{g(\text{gel})}{g(\text{sólidos MS})} \quad (11)$$

$$\text{ISA: } \frac{g(\text{sólidos})}{g(\text{sólidos originales})} \quad (12)$$

### ➤ Índice de Digestibilidad invitro de la Proteína

#### Fundamento

La digestibilidad proteica es un indicador de la calidad de las proteínas del producto extruido. La evaluación se realizó en base al método de Hsu et al., 1977 (como se citó en Briones, 2011).

#### Procedimiento

Se preparó una solución multienzimática con: 1.6 mg tripsina, 3.1 mg quimotripsina y 1.3 mg peptidasa por ml. A esta solución se le ajustó el pH 8.0 con HCl 0.1 N/NaOH 0.1N en un baño de hielo, por separado se prepararon 50 ml de una suspensión acuosa para c/u de las muestras con 6.25 mg de proteína/ml, al igual que en el caso anterior, se ajustó a pH 8.0 con HCl 0.1 N/NaOH 0.1N en un baño maría a 37 °C. Un volumen de 5 ml de la solución multienzimática se añadió a la suspensión acuosa de la muestra. Se tomó el tiempo al realizar la mezcla con un cronómetro para posteriormente a los 10 minutos exactos medir el pH. Los cálculos se realizaron con la siguiente relación que presentan los autores en base a una regresión lineal:

$$Y = 210,46 - 18,103X \quad (13)$$

Dónde:

Y = Digestibilidad in vitro

X = Valor de pH a los 10 minutos,

210.46 = Intersección con el eje “Y”

18.103= Pendiente de la recta

### ➤ Perfil de aminoácidos

Se determinó por el método de extracción: Watanabe., T. 1988. Fish Nutrition and Mariculture. Adaptado en “Analytical Laboratories UBA”.

#### **Procedimiento**

- Se pesó  $3 \pm 0,7$  mg de muestra, por duplicado dentro de ampolla para digestión acida o básica.
- Se añadió 0.5 ml de la solución de HCl - fenol y digestar la muestra a 110 °C de 16 a 22 horas.
- Se enfrió y tamponó a pH aproximado de 2.2
- Se homogenizó, centrifugó y filtró (0.20  $\mu\text{m}$ )
- Se adicionó en vial ámbar la muestra y reactivos de Prederivatizacion OPA-Metanol
- Se analizó mediante HPLC-FLP (High performance Liquid Chromatography-Fluorecence Detector)
- Para fines de interpretación, se comparó con solución estándar: amino acids estandar for fluorescence (Sigma-Aldrich) A2161

### ➤ **Análisis de Textura instrumental**

Los productos extruidos se analizaron mediante el texturómetro SHIMADZU EZ-SX, utilizando una celda de carga de 50 N y las siguientes pruebas y sondas:

**Tabla 22.** Análisis de Textura Instrumental

<b>PRUEBA</b>	<b>MÉTODO</b>
Compresión	Texturómetro SHIMADZU EZ-SX carga máx. 50 N
Punción	Texturómetro SHIMADZU EZ-SX carga máx. 50 N
Corte con sonda en forma "V"	Texturómetro SHIMADZU EZ-SX carga máx. 50 N
Corte con sonda de Guillotina	Texturómetro SHIMADZU EZ-SX carga máx. 50 N

### ➤ **Prueba de Compresión**

Se utilizó una sonda cilíndrica de aluminio (Figura 6A), con un diámetro de 25 mm, una velocidad de prueba de 1 mm/s y una compresión del 50% de la altura de la muestra. La fuerza necesaria para comprimir el 50% de la altura de la muestra (10 mm de diámetro), en newton, se tomó como resultado de la prueba.

### ➤ **Prueba de Punción**

Se utilizó una sonda de aguja (Figura 6D) con una velocidad de prueba de 1 mm /s y una perforación del 50% del espesor de la muestra (10 mm de diámetro). La fuerza máxima obtenida, en newton, se tomó como resultado de la prueba.

### ➤ **Prueba de Corte con Sonda de Guillotina**

Se utilizó una cuchilla de corte con sonda de guillotina (Figura 6B) con una velocidad de prueba de 1 mm/s. El corte se realizó perpendicularmente al eje principal del producto hasta romperlo completamente. La fuerza máxima obtenida, en newton, se tomó como resultado de la prueba.

#### ➤ **Prueba de Corte con Sonda en forma "V"**

Se utilizó una cuchilla de corte con una sonda en forma de "V" (Figura 6C), con una velocidad de prueba de 1 mm/s. El corte se realizó perpendicularmente al eje principal del producto hasta romperlo completamente. La fuerza máxima obtenida, en newton, se tomó como resultado de la prueba.

Todos los análisis se realizaron a diez repeticiones.

### **3.4.2 ANÁLISIS DE EVALUACIÓN SENSORIAL DE TEXTURA DESCRIPTIVA**

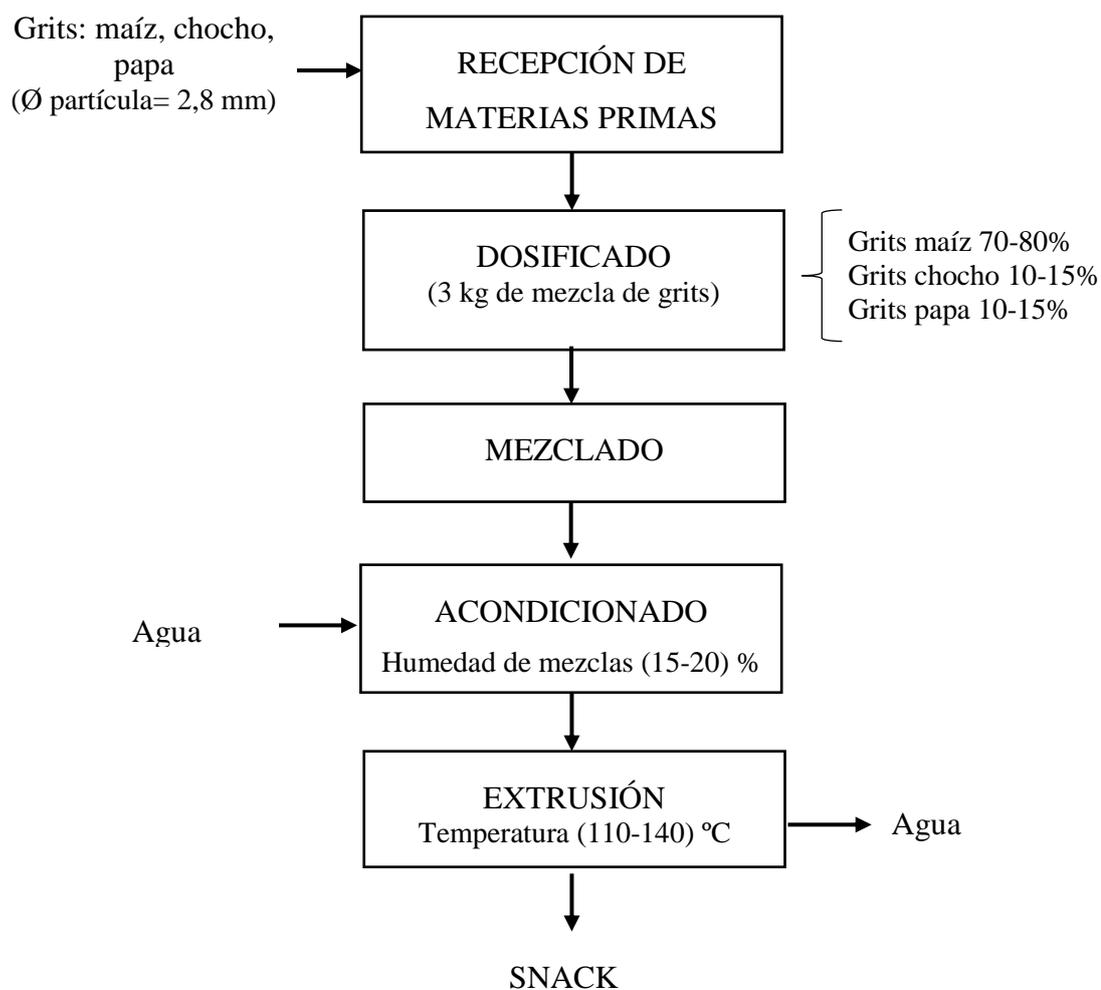
La evaluación de textura descriptiva en los productos extruidos se realizó con la ayuda de un panel semi-entrenado de 10 personas que laboran en el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Mediante una escala de intervalo lineal de 10 cm, se evaluó dureza, crujencia, fracturabilidad y adherencia de los snacks extruidos. Se asignaron valores numéricos para su tabulación, el valor más alto (10) a las características deseables y el menor valor (1) a las características no deseadas. Las evaluaciones se realizaron en cabinas de degustación independientes para evitar la influencia psicológica de respuesta entre los panelistas. Previo a la evaluación, se utilizó un protocolo de capacitación (ANEXO 10).

### **3.4.3 ANÁLISIS DE ACEPTABILIDAD SENSORIAL**

Las características organolépticas del producto extruido fueron evaluadas con la ayuda de un grupo de 30 consumidores. Las pruebas hedónicas de preferencia fueron evaluadas mediante escalas no-estructuradas de cinco intervalos, donde los atributos evaluados fueron: color, olor, sabor y textura. Para lo cual se utilizó una plantilla con la información necesaria para discriminar los atributos antes mencionados (ANEXO 11).

### 3.5 ANÁLISIS ESPECÍFICO DEL EXPERIMENTO

#### 3.5.1 DIAGRAMA DE BLOQUES PARA LA ELABORACIÓN DE UN SNACK EXTRUIDO



## Descripción del proceso de elaboración del Snack por extrusión

### 1. Recepción de materia prima

Se receptaron los grits de maíz, chocho y papa, obtenidos tras procesos de clasificación, limpieza, deshidratación, molienda y tamizado (en mallas metálicas con una abertura de 2,8 mm) en el caso del tubérculo y la leguminosa, con el fin de obtener grits homogéneos que faciliten el flujo del material en el extrusor.



**Fotografía 1.** Materias primas iniciales (papa, chocho y maíz)



**Fotografía 2.** Secado, molienda y tamizado



**Fotografía 3.** Materias primas para la extrusión (grits de papa, chocho y maíz)

## 2. Dosificado y Mezclado

Los grits obtenidos se pesaron en una balanza analítica de acuerdo a las fórmulas planteadas y luego se mezclaron con el fin de obtener unidades experimentales uniformes. Se tomó una muestra de 2g de cada formulación de mezcla para determinar el contenido de humedad en una balanza infrarroja.



**Fotografía 4.** Dosificado y Mezclado

## 3. Acondicionado

Al conocer el contenido de humedad de las materias primas, se acondicionó hasta obtener fórmulas de mezclas con humedades del 15 y 20 %.



**Fotografía 5.** Acondicionado

La cantidad de agua a añadir se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$a = \frac{WT(\%H_f) - (W_1(\%H_1) + W_2(\%H_2) + W_3(\%H_3))}{100\%} \quad (\text{g}) \quad (14)$$

$$1\text{g} = 1\text{ml} (\text{H}_2\text{O})$$

Dónde:

a= Cantidad agua a añadir (ml)

W1, W2, W3= Peso de las materias primas (g)

%H1, %H2, %H3= Humedad de las materias primas en porcentaje

WT= Peso total de la mezcla (g)

%Hf= Humedad final requerida de la mezcla en porcentaje

#### **4. Extrusión**

Se extruyó las mezclas previamente acondicionadas, controlando la temperatura de la cámara del extrusor 110 y 140°C y la velocidad del tornillo 300 rpm, conforme lo propuesto en la presente investigación.



**Fotografía 4.** Extrusión

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIONES

Para la presente investigación se utilizaron grits de maíz amarillo duro, chocho variedad INIAP 450 Andino y papa variedad súper chola, con una granulometría de 2,8 mm de diámetro, previamente obtenidos por deshidratación, molienda y tamizado.

#### 4.1 VARIABLES EVALUADAS EN LAS MATERIAS PRIMAS

##### 4.1.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LAS MATERIAS PRIMAS

Previo al desarrollo del experimento se realizaron los análisis físico-químicos a los grits de maíz, chocho y papa, así como a las mezclas de grits resultantes de las formulaciones planteadas en este estudio, con el fin de evaluar sus efectos durante la extrusión.

**Tabla 23.** Composición nutricional del grits de (maíz, chocho y papa), en base seca.

Parámetros	Unidad	Grits de maíz	Grits de chocho	Grits de papa
Humedad	%	12,42	9,16	7,79
Proteína	%	9,42	41,20	5,31
Lípidos	%	2,09	16,34	0,59
Cenizas	%	0,63	3,06	1,73
Carbohidratos	%	75,44	30,24	84,58
Fibra	%	0,89	10,46	1,56
Almidón	%	72,68	13,30	74,26
Amilosa	%	21,04	27,77	18,40
Amilopectina	%	78,96	72,23	81,60

Laboratorio del Departamento de Nutrición (Santa Catalina -INIAP)

Los componentes de la fórmula de ingredientes alimenticios cumplen varios papeles funcionales en el proceso y formación de los productos extruidos. Navale et al. (2015) mencionan que la composición química, en particular las cantidades y tipos de almidones, proteínas, fibra, humedad, lípidos y azúcares tienen una importante influencia en la textura y el color del producto. Además, Guy (2001) refiere que las propiedades físico-químicas antes mencionadas, cumplen funciones de estructura, relleno, lubricación y saborización, respectivamente en el extruido.

La Tabla 23 muestra la composición nutricional en base seca de los grits de maíz, chocho y papa utilizados en el presente estudio, los cuales presentaron contenidos de humedad de 12,42%, 9,16% y 7,79%, respectivamente. Por lo tanto, las materias primas mencionadas están dentro del límite máximo de humedad 13,63% en base seca, establecido en la norma de “Granos y Cereales” NTE INEN: 2 051 (1995).

Asimismo, se observó que el chocho posee un mayor contenido proteína bruta (41,20%), lípidos (16,34%) y fibra bruta (10,46%), con relación al cereal (maíz) y al tubérculo (papa), este último presentó los valores más bajos en los citados nutrientes. Sin embargo, la proteína de la papa es de alto valor biológico comparable al del huevo, debido a que dispone la mayoría de aminoácidos esenciales requeridos por el ser humano (Cuesta, 2012). No obstante, el chocho presentó un mayor valor nutricional.

Por su parte, la leguminosa (chocho) posee el menor contenido de carbohidratos (30,24%) con relación al cereal (maíz) y al tubérculo (papa), quienes presentaron altos contenidos de 75,44% y 84,58%, respectivamente.

Además, se verificó que el cereal (maíz) y el tubérculo (papa), presentaron altos contenidos de almidón de 72,68% y 74,26%, respectivamente. Mientras, la leguminosa presentó un bajo contenido de almidón 13,30%. Guy (2001); Altan & Maskan (2012) indican que para obtener productos extruidos altamente expandidos y con excelentes características texturales, el contenido mínimo de almidón en la mezcla debe ser de 60%.

Por su parte, el contenido de amilosa presente en el almidón de las materias primas fue de 21,04%, 27,77% y 18,40% para el maíz, el chocho y la papa,

respectivamente. De hecho, Moscicki (2011) menciona que los almidones utilizados para la formación de la estructura de los productos extruidos expandidos presenten de 5% a 20% de amilosa, debido a que al aumentar el contenido de amilosa, aumenta también la temperatura de gelatinización del almidón, lo cual reduce el grado de fusión del almidón al utilizar extrusores de un solo tornillo con una longitud de tornillo corta (Navale et al., 2015).

Cabe señalar que los gránulos del almidón de papa son de mayor tamaño (60–100µm) con relación a los cereales (Moscicki, 2011) y, a la vez, presentan grupos éster-fosfato en su composición (Ai & Jane, 2018), lo cual le brinda una baja temperatura de gelatinización. Por tanto, la papa presenta excelentes características para la extrusión en caliente.

**Tabla 24.** Composición nutricional de las mezclas de grits, en base seca.

<b>Parámetros</b>	<b>Unidad</b>	<b>Mezcla 1</b>	<b>70% Maíz 15% Chocho 15% Papa</b>	<b>Mezcla 2</b>	<b>80% Maíz 10% Chocho 10% Papa</b>
Humedad	%		11,24		11,63
Proteína	%		13,57		12,18
Lípidos	%		4,00		3,36
Cenizas	%		1,16		0,98
Carbohidratos	%		70,03		71,85
Fibra	%		2,42		1,91

Laboratorio del Departamento de Nutrición (Santa Catalina -INIAP)

Por otra parte, en la Tabla 24 se muestra la composición nutricional de las formulaciones de grits planteadas en el presente estudio. Donde se observa un mayor incremento en el contenido nutricional en la formulación con mayor contenido de chocho y papa, en mayor proporción en los contenidos de proteína bruta 13,57%, lípidos 4,00% y fibra bruta 2,42%.

Es conveniente señalar que la proteína del maíz es de calidad inferior debido a su deficiencia en aminoácidos esenciales como la lisina y triptófano, pero poseen cantidades considerables de aminoácidos azufrados (metionina y cisteína), en contraste con la proteína del chocho, siendo complementaria de éstos. Por tanto, al

combinar cereales con leguminosas se consigue un alimento con un mejor balance de aminoácidos, necesarios para el ser humano (Villacrés et al., 2003).

Además, Cuesta (2012) indica que la papa presenta un bajo contenido de proteína, no obstante su proteína es de alto valor biológico. Por tanto, se justifica su incorporación en la mezcla de maíz y chocho, ya que complementa el perfil de aminoácidos esenciales y consecuentemente mejora el valor biológico de la proteína.

## **4.2 VARIABLES EVALUADAS EN EL SNACK EXTRUIDO**

### **4.2.1 VARIABLES FÍSICO-QUÍMICAS**

En la Tabla 25 se presenta el análisis de varianza de las propiedades fisicoquímicas de los productos extruidos, como son: Humedad, Proteína, Lípidos, Cenizas y Carbohidratos, donde en todas las propiedades; los tratamientos, el factor **A** (fórmula de mezcla) y la comparación del testigo con el resto de tratamientos, presentaron diferencias altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ). Por consiguiente para éstos se rechaza la hipótesis nula; y se acepta que los productos extruidos difieren significativamente para con el testigo y a su vez se acepta que al menos dos tratamientos son diferentes entre sí, en cada propiedad fisicoquímica. Así mismo, se concluye que la formulación de la mezcla afectó significativamente a todas las propiedades físico-químicas citadas.

Los factores **B** (humedad de la mezcla) y **C** (Temperatura de extrusión) presentaron efectos altamente significativos ( $p \leq 0.01$ ) en la mayoría de las variables evaluadas, excepto en los contenidos de cenizas y proteína, respectivamente, donde no presentaron un efecto significativo ( $p > 0.05$ ).

Asimismo, el análisis estadístico mostró que las interacciones **AB** (fórmula y humedad de la mezcla), **BC** (humedad de la mezcla vs temperatura de extrusión) y **ABC** (fórmula de la mezcla- humedad de la mezcla - temperatura de extrusión), presentaron efectos altamente significativos ( $p \leq 0.01$ ) en la mayoría de las variables evaluadas, excepto en el contenido de fibra, donde no presentaron un efecto significativo ( $p > 0.05$ ).

Por otra parte, la interacción **AC**, generó un efecto altamente significativo ( $p \leq 0.01$ ) en los contenidos de proteína, lípidos y carbohidratos; y un efecto significativo ( $p \leq 0.05$ ) en el contenido de humedad. Sin embargo, para los contenidos de fibra y cenizas, no presentó algún efecto significativo ( $p > 0.05$ ).

Además, en la Tabla 25 se observa los coeficientes de variación (CV%) de las características físico-químicas evaluadas, donde se registran valores inferiores al 4% y comprendidos entre 0,19% a 3,51%. Esto nos indica que los datos obtenidos son confiables y se ajustan a lo establecido en condiciones experimentales en laboratorio.

**Tabla 25.** Análisis de Varianza para las características físico-químicas evaluadas del Snack Extruido

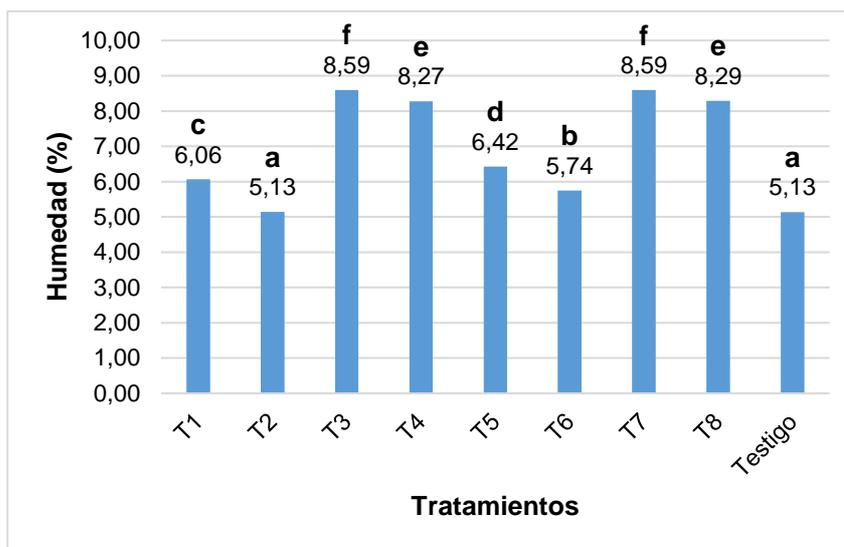
		<b>Humedad</b>	<b>Proteína</b>	<b>Lípidos</b>	<b>Fibra</b>	<b>Cenizas</b>	<b>Carbohidratos</b>
<b>F.V</b>	<b>GL</b>	<b>F-valor</b>	<b>F-valor</b>	<b>F-valor</b>	<b>F-valor</b>	<b>F-valor</b>	<b>F-valor</b>
<b>Total</b>	26						
<b>Tratamientos</b>	8	1598,86**	1392,35**	533,59**	1271,64**	85,70**	2164,05**
<b>A (Fórmula de la mezcla)</b>	1	85,25**	2325,08**	2433,32**	2474,85**	105,95**	2982,08**
<b>B (Humedad de la mezcla)</b>	1	9552,01**	187,30**	718,44**	36,71**	1,07 <sup>ns</sup>	539,46**
<b>C (Temperatura de extrusión)</b>	1	442,95**	0,52 <sup>ns</sup>	24,24**	21,38**	12,70**	62,71**
<b>AB</b>	1	80,96**	93,99**	54,04**	1,63 <sup>ns</sup>	22,60**	57,50**
<b>AC</b>	1	6,17*	152,61**	34,75**	3,08 <sup>ns</sup>	0,83 <sup>ns</sup>	108,48**
<b>BC</b>	1	85,14**	1636,57**	182,04**	0,03 <sup>ns</sup>	37,90**	2036,95**
<b>ABC</b>	1	4,62*	121,24**	22,24**	0,64 <sup>ns</sup>	8,46**	159,15**
<b>Testigo vs Resto</b>	1	2533,75**	6621,48**	799,64**	87,10**	496,11**	11366,11**
<b>E. exp.</b>	18						
<b>CV (%)</b>		0,94	0,94	3,51	1,38	2,79	0,19

FV: Fuentes de Variación; F-valor: valor de prueba estadística F calculada; GL: Grados de libertad; \*\*: Altamente significativo ( $p \leq 0.01$ );

\*: Significativo ( $p \leq 0.05$ ); ns: no significativo ( $p > 0.05$ ); CV (%): Coeficiente de Variación

#### 4.2.1.1 Humedad

En la Figura 10 se presenta el contenido de humedad en los productos obtenidos en el proceso de extrusión, donde se observa valores que oscilan de 5,13% a 8,59%. La humedad del producto extruido es considerado como el factor más importante con respecto a su almacenamiento y tiempo de vida útil, valores inferiores al 10% reducen el riesgo de crecimiento microbiano (Rehal, Kaur, Kaur y Singh, 2017).



**Figura 10.** Humedad de los productos extruidos (%) con sus respectivos rangos Tukey

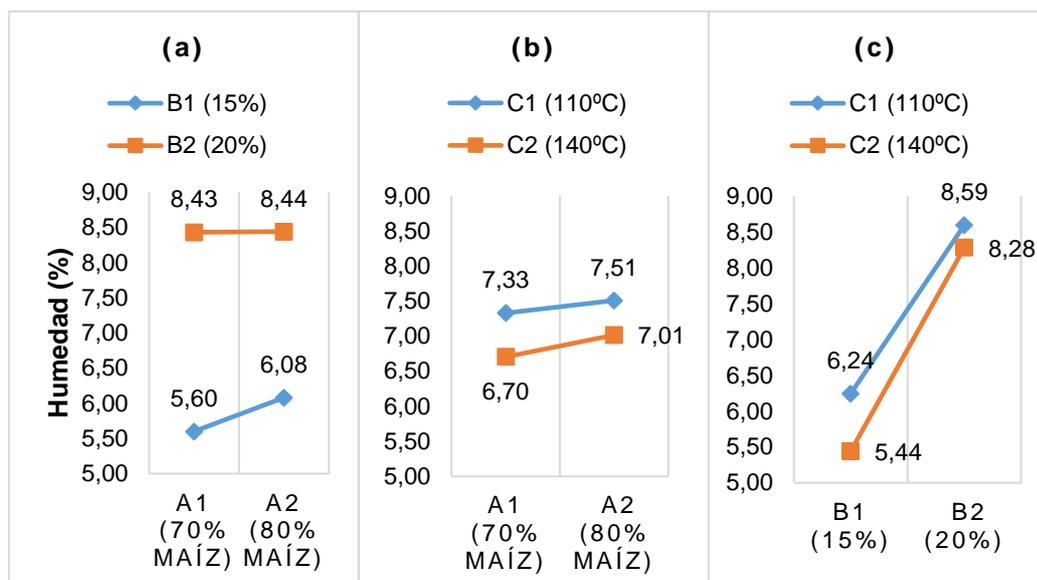
Los resultados del análisis de varianza (Tabla 25) refleja que los factores principales: **A** (fórmula de la mezcla), **B** (humedad de la mezcla), **C** (temperatura de extrusión); las interacciones: **AB** (fórmula de la mezcla vs humedad de la mezcla) y **BC** (humedad de la mezcla vs temperatura de extrusión), influyeron de manera altamente significativa ( $p \leq 0.01$ ); mientras las interacciones: **AC** (fórmula de la mezcla vs temperatura de extrusión) y **ABC** (fórmula de la mezcla- humedad de la mezcla- temperatura de extrusión), influyeron significativamente ( $p \leq 0.05$ ) en el contenido de humedad del producto extruido. Así también, el análisis estadístico reportó que los tratamientos y la comparación del testigo con el resto de tratamientos, presentaron diferencias estadísticas altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ). Por tanto, al existir diferencias significativas, se realizó la prueba Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ) a los tratamientos y la prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS  $\alpha \leq 0.05$ ) a los factores.

Con la prueba de comparación múltiple Tukey al 5% (Figura 10), se determinó seis rangos con diferencias estadísticas significativas, donde el testigo (100% maíz) y el tratamiento T2 (70:15:15, 15% humedad de la mezcla y 140°C de temperatura de extrusión) registraron los valores más bajos de humedad (5,13%) con relación a los demás tratamientos. Por lo tanto, se ubicaron en el rango (**a**).

Por su parte, los tratamientos T7 (80:10:10; 20% humedad de la mezcla y 110°C de temperatura de extrusión) y T3 (70:15:15; 20% humedad de la mezcla y 110°C de temperatura de extrusión) registraron valores superiores de humedad (8,59%), con relación a los demás tratamientos. Por tanto, se localizaron en el último rango (**f**).

Se observa que los tratamientos a partir de mezclas con una humedad del 10%, que es el factor en común, generaron productos extruidos con menor contenido de humedad con relación a los tratamientos que partieron con una humedad en la mezcla del 20%. Resultados similares fueron reportados por Brennan, Lan & Brennan (2016) y Patil, Anne, Sue, Charles & Brennan, (2017), quienes registraron una disminución en el contenido de humedad del producto extruido, conforme reducían la humedad en la formulación de alimentos.

Las pruebas de funcionalidad DMS ( $\alpha < 0.05$ ) para los factores **A**, **B** y **C** (ANEXO 1), mostraron una diferencia significativa para los dos niveles de formulación de mezcla: **A1** (70:15:15) y **A2** (80:10:10), humedad en la mezcla: **B1** (15%) y **B2** (20%) y temperatura de extrusión: **C2** (110 °C) y **C2** (140 °C), sobre el contenido de humedad en el snack extruido. Donde, la formulación con mayor sustitución de maíz por chocho y papa **A1**, el bajo contenido de humedad en la mezcla **B1** y la alta temperatura de extrusión **C2**, tuvieron mayor efecto en la obtención de snacks extruidos con bajo contenido de humedad.



**Figura 11.** Interacción de Factores: **a)** AB (Fórmula de mezcla vs Humedad de Mezcla); **b)** AC (Fórmula de mezcla vs Temperatura) y **c)** BC (Humedad de Mezcla vs Temperatura), respectivamente en la variable Humedad.

El efecto combinado de los factores **AB** es observado en la Figura 11a, la cual muestra que la humedad en los extruidos disminuye a medida que se sustituye el contenido de maíz de 20 a 30% por papa y chocho en la mezcla, en particular, en mezclas con 15% de humedad. Este efecto probablemente se produjo al aumentar el contenido de chocho en la formulación, quien presenta altos contenidos de proteína y lípidos.

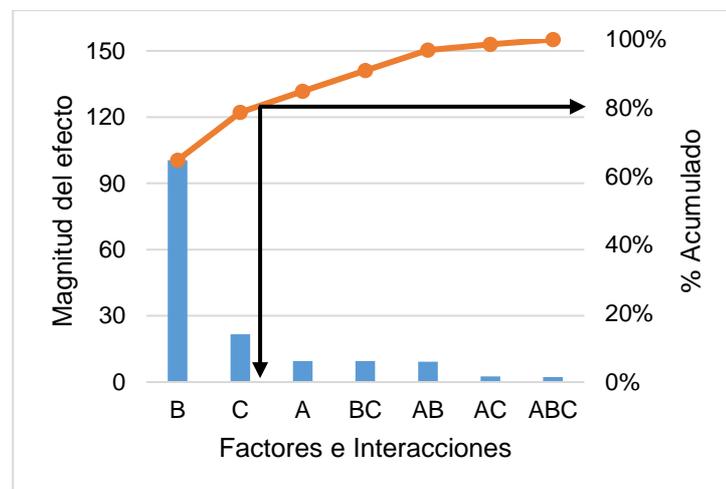
Guy (2001); Hood-niefer & Tyler (2010) señalan que la proteína y los lípidos actúan como plastificante y lubricante en el proceso de extrusión, respectivamente. Por tanto, disminuyen el esfuerzo de cizalla y consecuentemente la presión al interior del barril. Esto crea un bajo diferencial de presión entre el troquel y el ambiente, lo cual resulta en una reducida cantidad de agua evaporada del extruido, por sobrecalentamiento, a la salida del extrusor. Por otra parte, Patil et al. (2017) en su investigación determinaron que el aumento de la humedad de la alimentación ayudó a disminuir la pérdida de humedad durante la extrusión.

Asimismo, el efecto de la interacción de los factores **AC** es observado en la Figura 11b, la cual ratifica que la humedad en los snacks extruidos disminuye al sustituir el contenido de maíz del 20 al 30% por papa y chochos en la mezcla y aumentar la temperatura de extrusión de 110°C a 140°C. Altan & Maskan (2012), indican que

elevadas temperaturas de extrusión generan mayor calentamiento del agua presente en el alimento y consecuentemente mayor pérdida de humedad en el extruido por evaporación a la salida del extrusor.

Por su parte, el efecto combinado de los factores **BC** es observado en la Figura 11c, la cual muestra que el contenido de humedad en el producto extruido disminuye al reducir el contenido de humedad en la mezcla de 20 a 15% y aumentar la temperatura de extrusión de 110 a 140°C. La humedad actúa como plastificante en combinación con los ingredientes, lo cual reduce la elasticidad del material y consecuentemente genera extruidos con baja expansión (Ding et al., 2006).

Al respecto, Gulati et al. (2016); Patil et al. (2016) concuerdan que la retención de humedad durante la extrusión afecta negativamente la aceptación del snack por el consumidor al alterar las propiedades físicas del producto como la dureza y la densidad aparente. Kasprzak et al. (2013) reportaron que los extruidos con menor contenido de humedad desarrollaron células de aire con diámetros altos y paredes celulares delgadas, generando así una textura más crujiente.



**Figura 12.** Diagrama de Pareto para Humedad

La magnitud de los efectos de los factores e interacciones en estudio, es presentado en el Diagrama de Pareto (Figura 12). Donde se aprecia, en orden de importancia, que los factores de mayor efecto sobre el contenido de humedad del extruido son: humedad de la mezcla (**B**) y temperatura de extrusión (**C**), con una magnitud de efecto del 64,78% y 13,95% sobre esta variable, respectivamente. Por tanto,

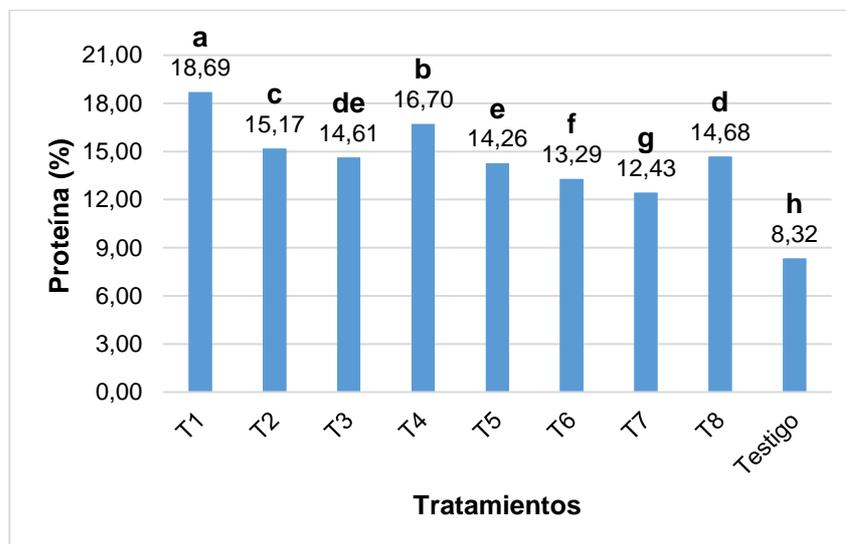
influyen con el 78,73% de la variabilidad total en el contenido de humedad del extruido.

No obstante, el efecto producido por la humedad de la mezcla fue tres veces superior al efecto de la temperatura de extrusión. Esto afirma que el factor más influyente sobre el contenido de humedad de los productos extruidos fue la humedad de la mezcla.

Por lo tanto, los mejores tratamientos en esta variable (extruidos con bajo contenido de humedad) dentro de los parámetros establecidos en la presente investigación se obtienen al extruir formulaciones alimenticias con 15% de humedad a una temperatura en el extrusor de 140°C.

#### 4.2.1.2 Proteína

En la Figura 13 se presenta el contenido de proteína de los productos obtenidos en el proceso de extrusión, donde se distingue que los tratamientos resultantes de los factores de estudio registran valores que oscilan de 12,43% a 18,69%, superiores al testigo quien presentó un valor de 8,32%. La calidad de la proteína depende de su cantidad, el grado de digestibilidad y la disponibilidad de los aminoácidos esenciales.



**Figura 13.** Proteína de los productos extruidos (%) con sus respectivos rangos Tukey

El análisis de varianza presentado en la Tabla 25, revela que los factores principales: **A** (fórmula de la mezcla) y **B** (humedad de la mezcla); las interacciones: **AB** (fórmula de la mezcla vs humedad de la mezcla), **AC** (fórmula de la mezcla vs temperatura de extrusión), **BC** (humedad de la mezcla vs temperatura de extrusión); y la interacción triple **ABC** (fórmula de la mezcla - humedad de la mezcla - temperatura de extrusión), influyeron de manera altamente significativamente ( $p \leq 0.01$ ) en el contenido de proteína del producto extruido. Así también, el análisis estadístico reportó que los tratamientos y la comparación del testigo con el resto de tratamientos, presentaron diferencias estadísticas altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ).

Por tanto, al existir diferencias significativas, se realizó la prueba Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ) a los tratamientos y la prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS  $\alpha \leq 0.05$ ) a los factores.

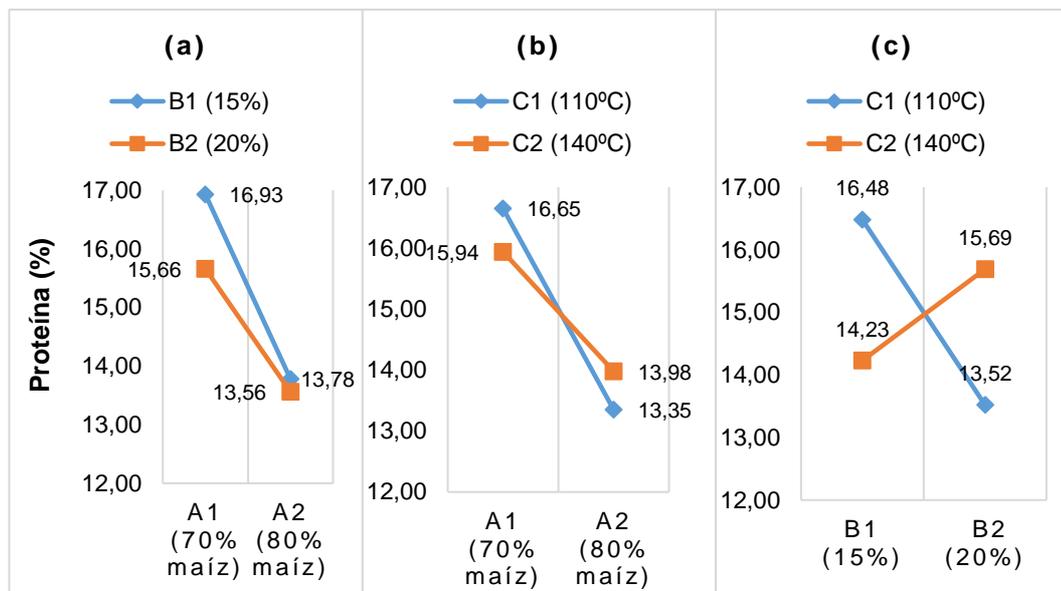
Con la prueba de comparación múltiple Tukey al 5% (Figura 13), se determinó ocho rangos con diferencias estadísticas significativas, donde el tratamiento T1 (70:15:15; 15% humedad de la mezcla y 110°C de temperatura de extrusión), registró el valor más alto de proteína (18,69%) con relación a los demás tratamientos. Por lo tanto, se ubicó en el rango (**a**).

Por otra parte, el tratamiento T7 (80:10:10; 20% humedad de la mezcla y 110°C de temperatura de extrusión), registró el valor más bajo de proteína (12,43%) con relación a los tratamientos resultantes del efecto de los factores de estudio. Sin embargo, el testigo (100% maíz) registró un contenido de proteína muy inferior a éstos con un valor de 8,32%, por lo tanto, se ubicó en el rango (**h**).

Se observa que los tratamientos a partir de la formulación con maíz, chocho y papa en proporción 70:15:15, que es el factor en común, generaron productos extruidos con mayor contenido de proteína con relación a los tratamientos que partieron de la formulación 80:10:10, de maíz, chocho y papa, respectivamente.

Las pruebas de funcionalidad DMS ( $\alpha < 0.05$ ) para los factores **A**, **B** y **C** (ANEXO 2), mostraron una diferencia significativa para los dos niveles de formulación de mezcla: **A1** (70:15:15) y **A2** (80:10:10), humedad en la mezcla: **B1** (15%) y **B2**

(20%) y temperatura de extrusión: **C2** (110 °C) y **C2** (140 °C), sobre el contenido de proteína del snack extruido. Donde, la formulación con mayor sustitución de maíz por chocho y papa **A1**, el bajo contenido de humedad en la mezcla **B1** y la baja temperatura de extrusión **C2**, tuvieron mayor efecto en la obtención de snacks extruidos con alto contenido de proteína.



**Figura 14.** Interacción de Factores: **a)** AB (Fórmula de mezcla vs Humedad de Mezcla); **b)** AC (Fórmula de mezcla vs Temperatura) y **c)** BC (Humedad de Mezcla vs Temperatura), respectivamente en la variable Proteína.

El efecto de la interacción de los factores **AB** es apreciado en la Figura 14a, la cual muestra que el contenido de proteína en el extruido aumenta a medida que se sustituye el contenido de maíz de 20 a 30% por papa y chochos en la formulación, en particular con una formulación de baja humedad (15%). El incremento en el contenido de proteína fue influenciado principalmente por la participación del chocho (41,20% proteína en base seca) en la formulación. Resultados similares fueron obtenidos por Patil et al. (2016) y Pérez et al. (2017), quienes registraron un aumento en el contenido de proteína del snack, conforme adicionaban leguminosas a las muestras extruidas a base de cereales.

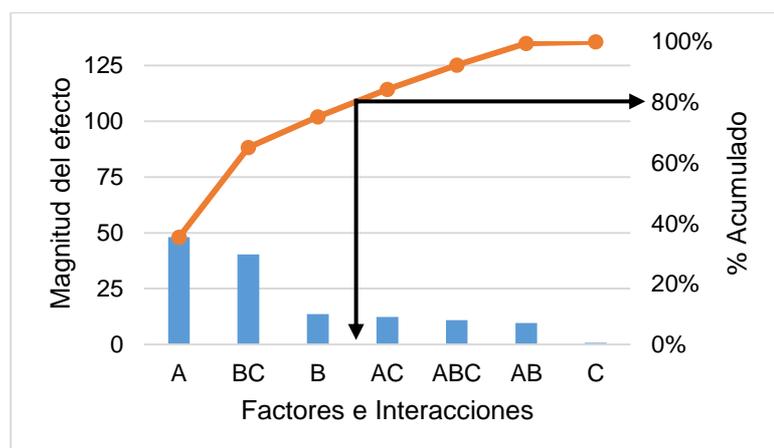
Sin embargo, Patil et al. (2017), argumenta que los materiales a extruir con altos contenidos de proteína, producen snacks con bajos índices de expansión, alta densidad aparente y mayor dureza.

Similar efecto tiene la interacción de los factores **AC**, observado en la Figura **14b**, en donde muestra que el valor de proteína en los extruidos aumenta al incrementar el contenido de chocho y papa 20 a 30% en la formulación y reducir la temperatura de extrusión (de 120°C a 110°C).

Por otra parte, el efecto de la interacción de los factores **BC**, es observado en la Figura **14c**, la cual muestra que al reducir el contenido de humedad en la mezcla, de 20% a 15%, y aplicar una baja temperatura de extrusión (110°C) se obtiene extruidos con mayor contenido proteico. Por el contrario, al utiliza una alta temperatura de extrusión (140°C) el contenido de proteína en el snack disminuye de manera notable.

Al respecto, Guy (2001) y Berk (2018) indican que al extruir alimentos con baja humedad a elevadas temperaturas, se promueve la reacción de Maillard durante el proceso, donde los azúcares reductores incluidos los formados por cizallamiento del almidón y la sacarosa pueden reaccionar con la lisina disminuyendo así el valor nutricional de la proteína. La lisina es el aminoácido esencial limitante en el maíz (Altan & Maskan, 2012).

Sin embargo, bajo éstas condiciones de extrusión la digestibilidad de las proteínas aumenta por efecto de su desnaturalización, la cual genera mayor número de sitios accesibles al ataque enzimático (proteasas) (Altan & Maskan, 2012; Lupano, 2013; Ramachandra & Thejaswini, 2015).



**Figura 15.** Diagrama de Pareto para Proteína

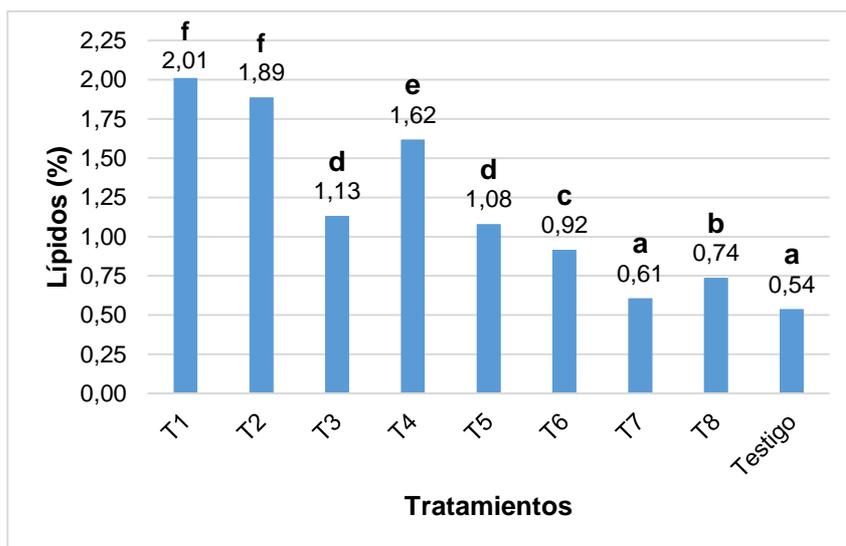
La magnitud de los efectos de los factores e interacciones en estudio, es presentado en el Diagrama de Pareto (Figura 15). Donde se aprecia, en orden de importancia, que el factor y la interacción de factores de mayor efecto sobre el contenido de proteína del extruido son: fórmula de la mezcla (**A**) y la interacción humedad de la mezcla vs temperatura de extrusión (**BC**), con una magnitud de efecto del 35,42% y 29,71% sobre esta variable, respectivamente. Por tanto, influyen con el 65,13% de la variabilidad total en el contenido de proteína del extruido.

En efecto, la formulación de la mezcla fue el factor más influyente sobre el contenido de proteína de los productos extruidos. Por lo tanto, los mejores tratamientos en esta variable (extruidos con mayor contenido proteico) dentro de los parámetros establecidos en la presente investigación se obtienen al extruir formulaciones alimenticias de maíz, chocho y papa en una proporción 70:15:15, respectivamente, con 15% de humedad a una temperatura en el extrusor de 110°C.

En definitiva, todos los tratamientos obtuvieron un contenido proteico superior al registrado por el testigo, quien se asimila a un extruido con valor comercial. Por lo tanto, cualquier tratamiento puede ser elegido como el mejor en cuanto al nivel proteico. Sin embargo, se sugiere elegir a los tratamientos que brinden mejores características de textura.

#### ***4.2.1.3 Lípidos***

En la Figura 16 se presenta el contenido de lípidos de los productos obtenidos en el proceso de extrusión, donde se denota que los tratamientos resultantes de los factores de estudio registraron valores que oscilan de 0,61% a 2,01 %, superiores al testigo (100%maíz) quien presentó un valor de 0,54%.



**Figura 16.** Lípidos de los productos extruidos (%) con sus respectivos rangos Tukey

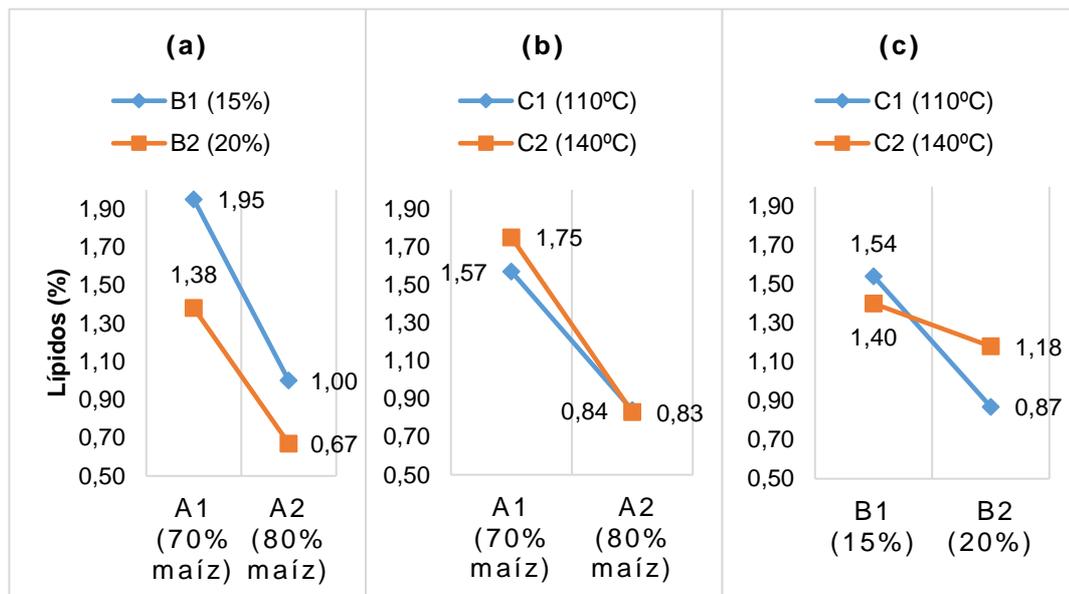
Los resultados del análisis de varianza (Tabla 25) reflejan que los factores principales: **A** (fórmula de la mezcla), **B** (humedad de la mezcla), **C** (temperatura de la cámara de extrusión); las interacciones: **AB** (fórmula de la mezcla vs humedad de la mezcla), **AC** (fórmula de la mezcla vs temperatura de extrusión), **BC** (humedad de la mezcla vs temperatura de extrusión); y la interacción triple **ABC** (fórmula de la mezcla - humedad de la mezcla - temperatura de extrusión), influyeron de manera altamente significativamente ( $p \leq 0.01$ ) en el contenido de lípidos del producto extruido. Así también, el análisis estadístico reportó que los tratamientos y la comparación del testigo con el resto de tratamientos, presentaron diferencias estadísticas altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ).

Por tanto, al existir diferencias significativas, se realizó la prueba Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ) a los tratamientos y la prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS  $\alpha \leq 0.05$ ) a las factores.

Con la prueba de comparación múltiple Tukey al 5% (Figura 16), se determinó seis rangos con diferencias estadísticas significativas, donde el testigo (100% maíz) y el tratamiento T7 (80:10:10; 20% humedad de la mezcla y 110°C de temperatura de extrusión), registraron los valores más bajos de lípidos con 0,54% y 0,61%, respectivamente, con relación a los demás tratamientos. Por lo tanto, se ubicaron en el rango (**a**).

Por otra parte, los tratamientos T1 (70:15:15; 15% humedad de la mezcla y 110°C de temperatura de extrusión) y T2 (70:15:15; 15% humedad de la mezcla y 140°C de temperatura de extrusión) registraron valores superiores de lípidos con 2,01% y 1,89%, respectivamente, con relación a los demás tratamientos. Por lo tanto se localizaron en el último rango (f).

Las pruebas de funcionalidad DMS ( $\alpha < 0.05$ ) para los factores **A**, **B** y **C** (ANEXO 3), mostraron una diferencia significativa para los dos niveles de formulación de mezcla: **A1** (70:15:15) y **A2** (80:10:10), humedad en la mezcla: **B1** (15%) y **B2** (20%) y temperatura de extrusión: **C1** (110 °C) y **C2** (140 °C), sobre el contenido de lípidos del snack extruido. Donde, la formulación con menor sustitución de maíz por chocho y papa **A2**, el alto contenido de humedad en la mezcla **B2** y las temperaturas de extrusión **C1** y **C2**, tuvieron mayor efecto en la obtención de snacks extruidos con bajo contenido de lípidos.



**Figura 17.** Interacción de Factores: **a)** AB (Fórmula de mezcla vs Humedad de Mezcla); **b)** AC (Fórmula de mezcla vs Temperatura) y **c)** BC (Humedad de Mezcla vs Temperatura), respectivamente en la variable Lípidos.

El efecto de la interacción **AB**, es observado en la Figura 17a, la cual muestra que el contenido de lípidos en el snack extruido aumenta a medida que se sustituye el contenido de maíz con chocho y papa de 20 a 30% en la formulación, con mayor efecto en las fórmulas acondicionada con el 20% de humedad. Este resultado posiblemente se produjo debido al alto contenido de lípidos del chocho. El chocho

es una gran fuente de ácidos grasos esenciales como son: oleico, linoleico y linolénico (Villacrés et al., 2006). Resultados similares de incremento de lípidos en extruidos por la incorporación de leguminosas reportaron Guy (2001); Moscicki (2011) y Pérez et al. (2017) en sus investigaciones.

Sin embargo, Steel et al., (2012) aclara que la extrusión de materiales con altos contenidos de grasa superiores al 3%, disminuye severamente la expansión del producto extruido.

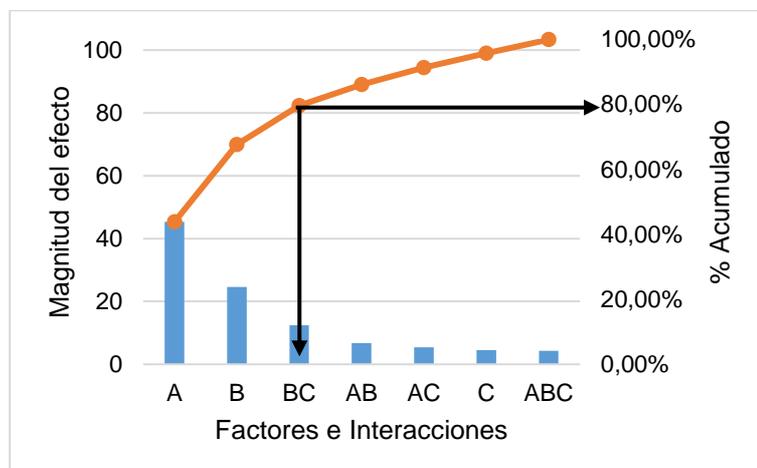
Similar efecto tiene la interacción de los factores **AC**, observado en la Figura **17b**, en donde muestra que el valor de los lípidos en los extruidos disminuye al reducir el contenido de chocho y papa de 20 a 30% en la formulación y al aplicar temperaturas de extrusión de 110°C o 140°C.

Por otra parte, el efecto combinado de los factores **BC**, es presentado en la Figura **17c**, la cual muestra que al aumentar el contenido de humedad en la mezcla de 15 a 20%, disminuye el contenido de lípidos en el snack, particularmente a bajas temperaturas de extrusión (110°C). Por lo tanto, los extruidos con mayor contenido de lípidos se obtienen a partir de formulaciones con 15% de humedad y procesadas con temperaturas de extrusión 110 o 140°C.

Ilo, Schoenlechner, y Berghofe (2000) reportaron que al extruir mezclas con bajos niveles de humedad a elevadas temperaturas, se genera un mayor esfuerzo de cizallamiento al interior del extrusor, lo cual produce la formación de complejos de varios tipos de lípidos incluidos los monoglicéridos, los ácidos grasos y sus ésteres con las fracciones de amilosa del almidón, que se reforman al enfriarse durante las operaciones de corte y manejos posteriores a la extrusión. Por lo tanto, al aumentar la severidad del proceso de extrusión en fórmulas alimenticias constituidas por materiales almidonosos y materiales de alto contenido lipídico, se retiene mayor contenido de lípidos en el extruido. Así también, al aumentar el tiempo de residencia y la viscosidad, aumenta la formación de complejos amilosa-lípido (Singh et al., 2007).

Por otra parte, las elevadas temperaturas de extrusión producen la desnaturalización de las lipasas, de manera que impiden la hidrólisis de los triglicéridos y

consecuentemente la oxidación de ácidos grasos libres retenidos dentro del almidón (Singh et al., 2007).



**Figura 18.** Diagrama de Pareto para lípidos

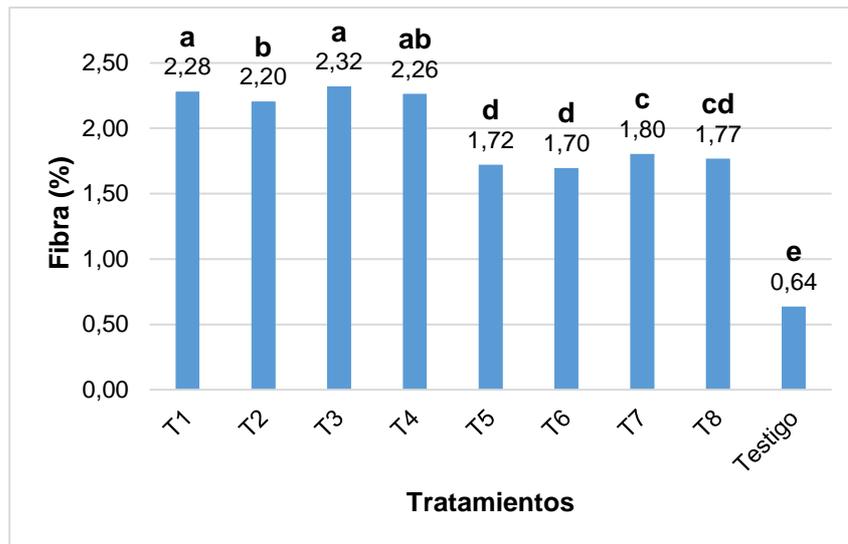
La magnitud de los efectos de los factores e interacciones en estudio, es presentado en el Diagrama de Pareto (Figura 18). Donde se aprecia, en orden de importancia, que los factores y la interacción de factores de mayor efecto sobre el contenido de lípidos del extruido son: fórmula de la mezcla (**A**), humedad de la mezcla (**B**) y la interacción humedad de la mezcla vs temperatura de extrusión (**BC**), con una magnitud de efecto del 43,84%, 23,82% y 11,99% sobre esta variable, respectivamente. Por tanto, influyen con el 79,66% de la variabilidad total en el contenido de lípidos del extruido.

No obstante, el efecto producido por la formulación de la mezcla fue casi dos veces superior al efecto de la humedad de la mezcla y casi cuatro veces superior al efecto combinado de la humedad de la mezcla y la temperatura de extrusión. Esto afirma que el factor más influyente sobre el contenido de lípidos de los productos extruidos fue la formulación de la mezcla.

Por lo tanto, los mejores tratamientos en esta variable (extruidos con bajo contenido en lípidos) dentro de los parámetros establecidos en la presente investigación se obtienen al extruir fórmulas alimenticias de maíz, chocho y papa en una proporción 80:10:10, respectivamente, con 20% de humedad a temperaturas en el extrusor de 110°C o 140°C.

#### 4.2.1.4 Fibra

En la Figura 19 se presenta el contenido de fibra de los productos obtenidos en el proceso de extrusión, donde se observa valores que oscilan de 1,77% a 2,28%, para los tratamientos resultantes de los factores de estudio, siendo superiores al testigo (100% maíz) quien registró un valor de 0,64%.



**Figura 19.** Fibra de los productos extruidos (%) con sus respectivos rangos Tukey

Los resultados del análisis de varianza (Tabla 25) reflejan que los factores principales: **A** (fórmula de la mezcla), **B** (humedad de la mezcla), **C** (temperatura de la cámara de extrusión); influyeron de forma independiente y de manera altamente significativa ( $p \leq 0.01$ ) en el contenido de fibra del producto extruido. Así también, el análisis estadístico reportó que los tratamientos y la comparación del testigo con el resto de tratamientos, presentaron diferencias estadísticas altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ).

Por tanto, al existir diferencias significativas, se realizó la prueba Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ) a los tratamientos y la prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS  $\alpha \leq 0.05$ ) a las factores principales.

Con la prueba de comparación múltiple Tukey al 5% (Figura 19), se determinó cinco rangos con diferencias estadísticas significativas, donde los tratamiento T3 (70:15:15; 20% humedad de la mezcla y 110°C de temperatura de extrusión) y T1 (70:15:15%; 15% humedad de la mezcla y 110°C de temperatura de extrusión),

registraron valores superiores de fibra de 2,32% y 2,28%, respectivamente, con relación a los demás tratamientos. Por lo tanto, se ubicaron en el rango (**a**).

Mientras los tratamientos T5 (80:10:10; 15% humedad de la mezcla y 110°C de temperatura de extrusión) y T6 (80:10:10; 15% humedad de la mezcla y 140°C de temperatura de extrusión) registraron valores bajos de fibra con 1,72 y 1,70%, respectivamente, con relación a los demás tratamientos. Por lo tanto se localizaron en el penúltimo rango (**d**). Sin embargo, el testigo registró un valor fibra muy inferior (0,64%) del resto de tratamientos, ubicándose en el rango (**e**).

**Tabla 26.** Prueba de Diferencia Mínima Significativa para el factor A

<b>Factor A</b>	<b>Medias</b>
<b>A1</b>	2,27 <sup><b>a</b></sup>
<b>A2</b>	1,75 <sup><b>b</b></sup>

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

La prueba (DMS) para el factor A (Tabla 26), indica que al sustituir el contenido de maíz del 20 al 30% por papa y chochos en la formulación, aumenta el contenido de fibra en el producto extruido de 1,75% a 2,27%. Este efecto seguramente se produjo al incrementar el contenido de chocho a la formulación, ya que éste presenta en su composición un porcentaje de fibra superior al de la papa y del maíz. En contraste, Wang & Ryu (2013), indican que la incorporación de materiales ricos en fibra, reducen el índice de expansión debido a que la fibra compite con el almidón por el agua libre en la matriz, lo cual retarda la gelatinización del almidón. Por tanto, se produce extruidos con estructuras más compactas.

**Tabla 27.** Prueba de Diferencia Mínima Significativa para el factor B

<b>Factor B</b>	<b>Medias</b>
<b>B2</b>	2,04 <sup><b>a</b></sup>
<b>B1</b>	1,98 <sup><b>b</b></sup>

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

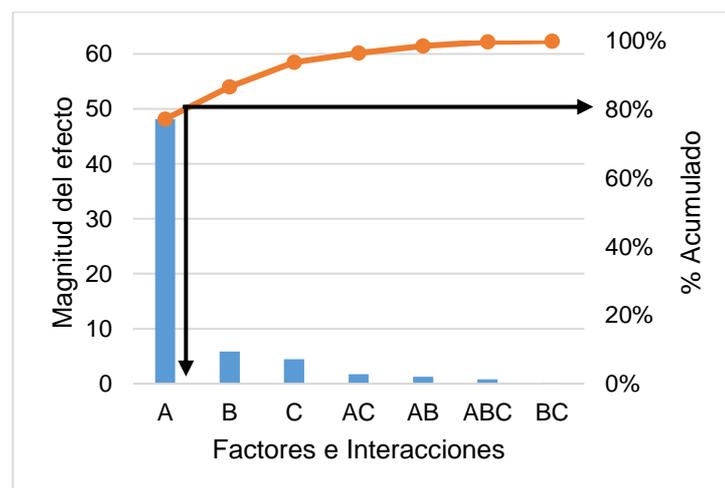
**Tabla 28.** Prueba de Diferencia Mínima Significativa para el factor C

Factor C	Medias
C1	2,03 <sup>a</sup>
C2	1,98 <sup>b</sup>

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

Por otra parte, las pruebas (DMS) para los factores **B** y **C** (Tablas 27 y 28), los extruidos con mayor contenido de fibra fueron obtenidos al aumentar el contenido de humedad en la mezcla de 15% a 20% y reducir la temperatura en la cámara de extrusión de 140°C a 110°C. Bouvier & Campanella (2014), aseveran que al aplicar altas temperaturas de extrusión en alimentos con bajos niveles de humedad, aumenta el esfuerzo cortante en el procesamiento, lo cual genera cambios en la característica estructural y propiedades físico-químicas de la fibra, siendo el principal efecto su aumento de la solubilidad en agua.

Tal efecto se genera como resultado de la ruptura de enlaces covalentes y no-covalentes entre los carbohidratos y las proteínas asociadas a la fibra, resultando en fragmentos moleculares más pequeños y más solubles (Ramachandra & Thejaswini, 2015).



**Figura 20.** Diagrama de Pareto para Fibra

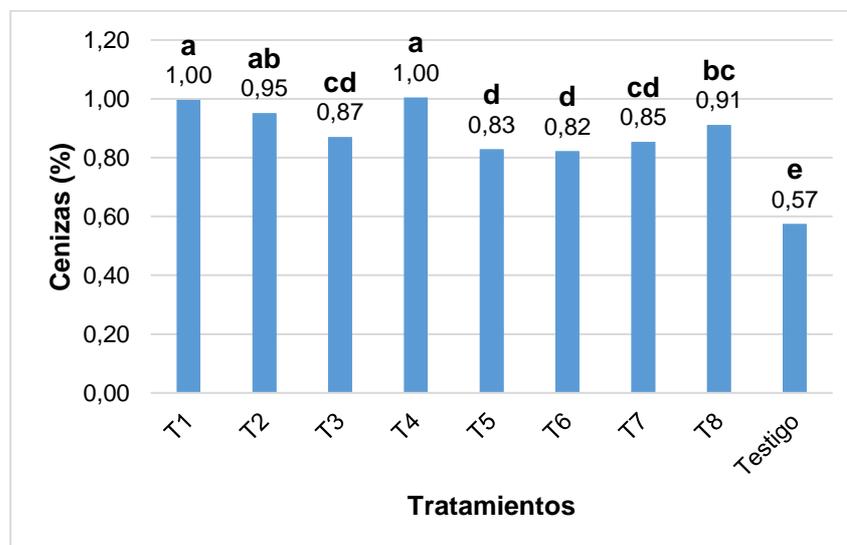
La magnitud de los efectos de los factores e interacciones en estudio, es presentado en el Diagrama de Pareto (Figura 20). Donde se aprecia que el factor de mayor

efecto sobre el contenido de fibra del extruido es la fórmula de la mezcla (**A**), con una magnitud de efecto del 77,23% sobre esta variable. Esto afirma que el factor más influyente sobre el contenido de fibra de los productos extruidos fue la fórmula de la mezcla.

Por lo tanto, los mejores tratamientos en esta variable (extruidos con alto contenido en fibra) dentro de lo establecidos en la presente estudio se obtienen al extruir fórmulas alimenticias de maíz, chocho y papa en una proporción 70:15:15, respectivamente, con 20% de humedad a temperaturas bajas en el extrusor de 110°C.

#### 4.2.1.5 Cenizas

En la Figura 21 se presenta el contenido de cenizas de los productos obtenidos en el proceso de extrusión, donde se distingue que los tratamientos resultantes de los efectos de los factores de estudio, registraron valores que oscilan de 0,82% a 1,00%, superiores al testigo (100% maíz) quien presentó un valor de 0,57%.



**Figura 21.** Cenizas de los productos extruidos (%) con sus respectivos rangos Tukey

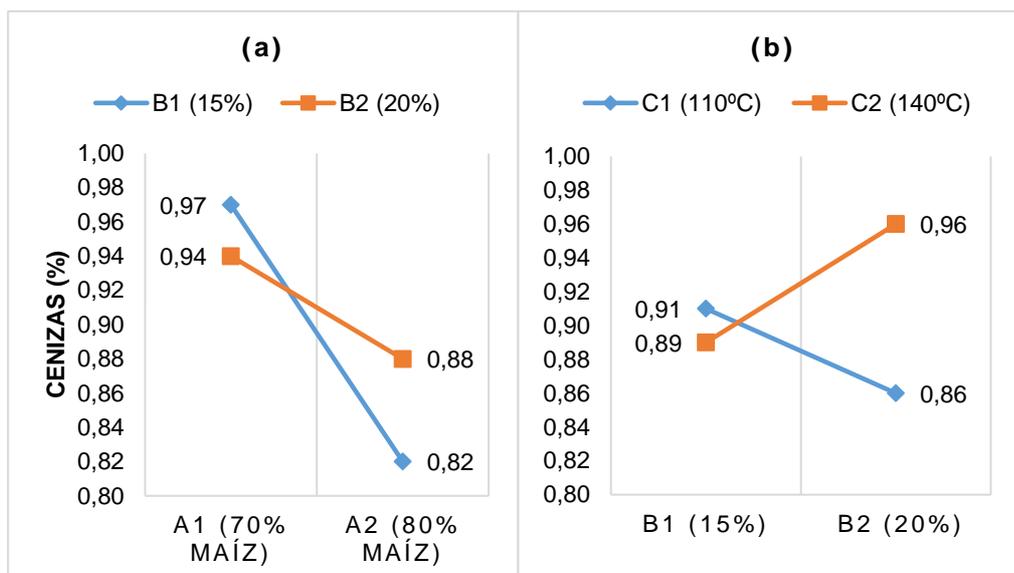
Los resultados del análisis de varianza (Tabla 25) reflejan que los factores principales: **A** (fórmula de la mezcla), **C** (temperatura de la cámara de extrusión); las interacciones: **AB** (fórmula de la mezcla vs humedad de la mezcla), **BC** (humedad de la mezcla vs temperatura de extrusión); y la interacción triple **ABC** (fórmula de la mezcla- humedad de la mezcla - temperatura de extrusión) influyeron

de manera altamente significativa ( $p \leq 0.01$ ) en el contenido de cenizas del producto extruido. Así también, el análisis estadístico reportó que los tratamientos y la comparación del testigo con el resto de tratamientos, presentaron diferencias estadísticas altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ).

Por tanto, al existir diferencias significativas, se realizó la prueba Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ) a los tratamientos y la prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS  $\alpha \leq 0.05$ ) a los factores.

Con la prueba de comparación múltiple Tukey al 5% (Figura 21), se determinó cinco rangos con diferencias estadísticas significativas, donde los tratamientos T4, T1 y T2, todos resultantes de la formulación 70:15:15, se ubicaron en el rango (a) como los mejores tratamientos en esta variable, ya que registraron valores superiores de cenizas de 1,00% y 0,95%, en ese orden, con relación a los tratamientos resultantes de la formulación 80:10:10 y al testigo (100% maíz), quien registró un valor de 0,57% el cual, se ubicó en el último rango (e).

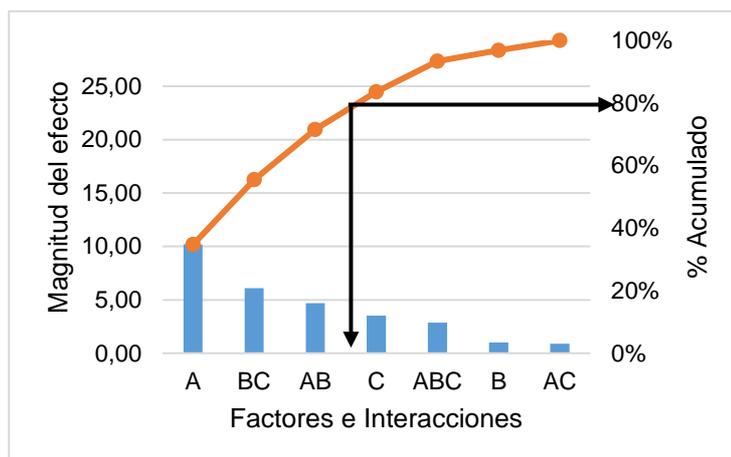
Las pruebas de funcionalidad DMS ( $\alpha < 0.05$ ) para los factores **A**, **B** y **C** (ANEXO 4), mostraron una diferencia significativa para los dos niveles de formulación de mezcla: **A1** (70:15:15) y **A2** (80:10:10), humedad en la mezcla: **B1** (15%) y **B2** (20%) y temperatura de extrusión: **C2** (110 °C) y **C2** (140 °C), sobre el contenido de cenizas del snack extruido. Donde, la formulación con mayor sustitución de maíz por chocho y papa **A1**, el bajo contenido de humedad en la mezcla **B1** y la alta temperatura de extrusión **C2**, tuvieron mayor efecto en la obtención de snacks extruidos con alto contenido de cenizas.



**Figura 22.** Interacción de Factores: **a)** AB (Fórmula de mezcla vs Humedad de Mezcla) y **b)** BC (Humedad de Mezcla vs Temperatura), respectivamente en la variable Cenizas.

El efecto combinado de los factores **AB**, es observado en la Figura **22a**, la cual muestra que el contenido de cenizas en los snacks extruidos aumenta a medida que se sustituye el contenido de maíz del 20 al 30% por chocho y papa en la formulación, en particular con formulaciones de 15% de humedad. Este resultado posiblemente se originó debido al alto contenido de minerales presentes en el chocho. El chocho posee altos contenidos de calcio y hierro (Chirinos-Arias, 2015; Villacrés et al., 2006). Guy (2001) informa que la pérdida en la biodisponibilidad mineral puede ocurrir en alimentos que contienen altos niveles de fibra dietética y fitatos.

Por otra parte, el efecto de la interacción **BC** es observado en la Figura **22b**, la cual muestra que los snacks con mayor contenido de minerales se obtienen al incrementar el contenido de humedad en la mezcla de 15 a 20%, si se utiliza una temperatura de extrusión de 140°C. Por el contrario, al utilizar una temperatura de extrusión de 110°C, el contenido de cenizas en los snacks disminuye de 0,91% a 0,86%. Al procesar alimentos con altos contenidos de fibra a severas condiciones de extrusión, aumenta el esfuerzo de cizalla entre el equipo y el alimento, el cual puede producir un aumento en el contenido de minerales (hierro) en el producto, como consecuencia del desgaste ocasionado al tornillo y al troquel (Altan & Maskan, 2012; Guy, 2001).



**Figura 23.** Diagrama de Pareto para Cenizas

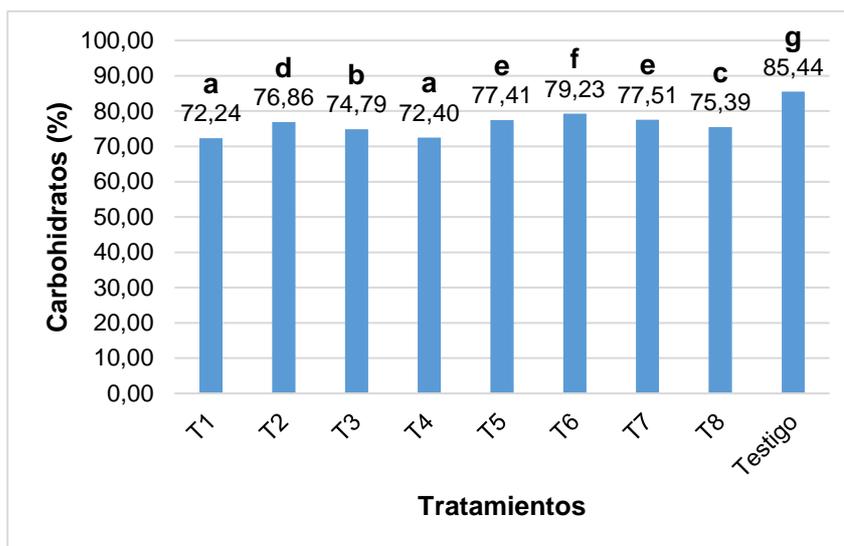
La magnitud de los efectos de los factores e interacciones en estudio, es presentado en el Diagrama de Pareto (Figura 23). Donde se aprecia, en orden de importancia, que los factores e interacciones de mayor efecto sobre el contenido de cenizas del extruido son: fórmula de la mezcla (**A**), humedad de la mezcla vs temperatura de extrusión (**BC**) y la interacción fórmula de la mezcla vs humedad de la mezcla (**AB**), con una magnitud de efecto del 34,75%, 20,78% y 16,05% sobre esta variable, respectivamente. Por tanto, influyen con el 71,58% de la variabilidad total en el contenido de cenizas del extruido.

Esto afirma que el factor más influyente sobre el contenido de cenizas de los productos extruidos fue la formulación de la mezcla.

Por lo tanto, los mejores tratamientos en esta variable (extruidos con alto contenido en cenizas) dentro de los parámetros establecidos en la presente investigación se obtienen al extruir fórmulas alimenticias de maíz, chocho y papa en una proporción 70:15:15, respectivamente, con 15% de humedad a temperaturas altas en el extrusor de 140°C.

#### **4.2.1.6 Carbohidratos**

En la Figura 24 se presenta el contenido de carbohidratos de los productos extruidos, donde se observa que los tratamientos resultantes de los factores de estudio, registraron valores que oscilan de 72,24% a 79,23%, inferiores al testigo (100% maíz) quien presentó un valor de 85,44%.



**Figura 24.** Carbohidratos de los productos extruidos (%) con sus respectivos rangos Tukey

Los resultados del análisis de varianza (Tabla 25) reflejan que los factores principales: **A** (fórmula de la mezcla) y **B** (humedad de la mezcla); las interacciones: **AB** (fórmula de la mezcla vs humedad de la mezcla), **AC** (fórmula de la mezcla vs temperatura de extrusión), **BC** (humedad de la mezcla vs temperatura de extrusión); y la interacción triple **ABC** (fórmula de la mezcla-humedad de la mezcla - temperatura de extrusión) influyeron de manera altamente significativa ( $p \leq 0.01$ ) en el contenido de carbohidratos del producto extruido. Así también, el análisis estadístico reportó que los tratamientos y la comparación del testigo con el resto de tratamientos, presentaron diferencias estadísticas altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ).

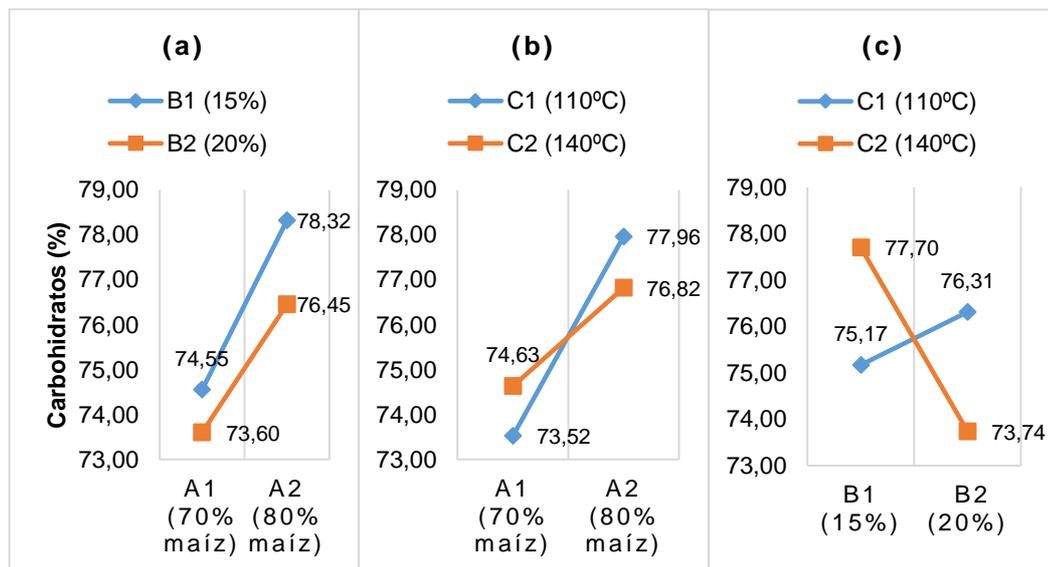
Por tanto, al existir diferencias significativas, se realizó la prueba Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ) a los tratamientos y la prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS  $\alpha \leq 0.05$ ) a los factores.

La prueba de comparación múltiple Tukey al 5% (Figura 24), determinó siete rangos con diferencias estadísticas significativas, donde los tratamientos T1 (70:15:15; 15% humedad de la mezcla y 110°C de temperatura de extrusión) y T4 (70:15:15; 20% humedad de la mezcla y una temperatura de extrusión de 140°C) registraron contenidos inferiores de carbohidratos de 72,24% y 72,40%

respectivamente, con relación a los demás tratamientos. Por lo tanto, se ubicaron en el rango (a).

Mientras el tratamiento T6, resultante de la fórmula de maíz, chocho y papa en proporción 80:10:10, registró un contenido de carbohidratos de 79,23%, superior al que registraron los tratamientos resultantes de los factores. Por tanto, se ubicó en el rango (f). Sin embargo, el testigo (100% maíz) registro un contenido de carbohidratos superior de 85,44%, el cual se ubicó en el rango (g).

Las pruebas de funcionalidad DMS ( $\alpha < 0.05$ ) para los factores **A**, **B** y **C** (ANEXO 5), mostraron una diferencia significativa para los dos niveles de formulación de mezcla: **A1** (70:15:15) y **A2** (80:10:10), humedad en la mezcla: **B1** (15%) y **B2** (20%) y temperatura de extrusión: **C1** (110 °C) y **C2** (140 °C), sobre el contenido de carbohidratos del snack extruido. Donde, la fórmula con mayor sustitución de maíz por chocho y papa **A1**, el alto contenido de humedad en la mezcla **B2** y la alta temperatura de extrusión **C2**, tuvieron mayor efecto en la obtención de snacks extruidos con bajo contenido de carbohidratos.



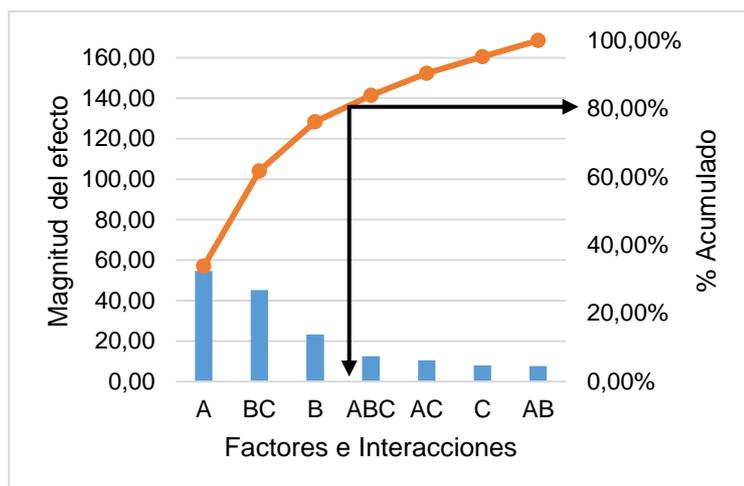
**Figura 25.** Interacciones de Factores: **a)** AB (Fórmula de mezcla vs Humedad de Mezcla); **b)** AC (Fórmula de mezcla vs Temperatura) y **c)** BC (Humedad de Mezcla vs Temperatura), respectivamente en la variable Carbohidratos.

El efecto combinado de los factores **AB**, es observado en la Figura **25a**, la cual muestra que el contenido de carbohidratos en los snacks extruidos disminuye al sustituir el contenido de maíz de 20 a 30% por chocho y papa, en particular en mezclas con 20% de humedad. Esto se debe al aumento del chocho a la formulación, ya que contiene un contenido de proteína superior al maíz y la papa (Tabla 23).

Similar comportamiento muestra el efecto de la interacción de los factores **AC**, el cual es observado en la Figura **25b**, en la cual se aprecia que el contenido de carbohidratos en los snacks reduce al sustituir el contenido de maíz de 20 a 30% por chocho y papa, en particular al aplicar una temperatura de extrusión de 110°C.

Por su parte, el efecto de la interacción **BC**, es observado en la Figura **25c**, la cual muestra que al reducir el contenido de humedad en la mezcla de 20% a 15% y utilizar una temperatura de extrusión de 140°C, aumenta el contenido de carbohidratos en los snacks. Por el contrario, al utilizar una temperatura de extrusión de 110°C, el contenido de carbohidratos en los snacks disminuye. Altan y Maskan (2012) informaron que en mezclas con bajos contenidos de humedad a elevadas temperaturas de extrusión se generan cambios en la estructura molecular del almidón, produciéndose un rompimiento de las cadenas de amilosa y amilopectina como también una modificación de la cristalinidad y degradación molecular por efecto de la gelatinización, por tanto el nivel de carbohidratos incrementa.

No obstante, Singh et al. (2007) manifiesta que utilizar temperaturas superiores a los 170 °C y humedades bajas (13%) genera pérdidas de azúcar debido a la conversión de sacarosa en glucosa y fructosa que posteriormente estos azúcares reductores se pierden durante las reacciones de Maillard con proteínas. La extrusión ha sido evaluada como un medio para producir almidón resistente a la digestión (Altan & Maskan, 2012).



**Figura 26.** Diagrama de Pareto para Carbohidratos

La magnitud de los efectos de los factores e interacciones en estudio, es presentado en el Diagrama de Pareto (Figura 26). Donde se aprecia, en orden de importancia, que los factores e interacciones de mayor efecto sobre el contenido de carbohidratos del extruido son: fórmula de la mezcla (**A**), humedad de la mezcla vs temperatura de extrusión (**BC**), con una magnitud de efecto del 33,81% y 27,95% sobre esta variable, respectivamente. Por tanto, influyen con el 61,76% de la variabilidad total en el contenido de carbohidratos del extruido.

Esto afirma que el factor más influyente sobre el contenido de carbohidratos de los productos extruidos fue la fórmula de la mezcla.

Por lo tanto, los mejores tratamientos en esta variable (extruidos con bajo contenido de carbohidratos) dentro de los parámetros establecidos en la presente investigación se obtienen al extruir fórmulas alimenticias de maíz, chocho y papa en una proporción 70:15:15, respectivamente, con 20% de humedad a temperaturas altas en el extrusor de 140°C.

A continuación, se presenta una tabla resumen de los resultados de las variables estudiadas con su respectiva desviación.

**Tabla 29.** Valores de las características Físico Químicas correspondientes a los tratamientos del Snack Extruido con sus respectivos rangos Tukey

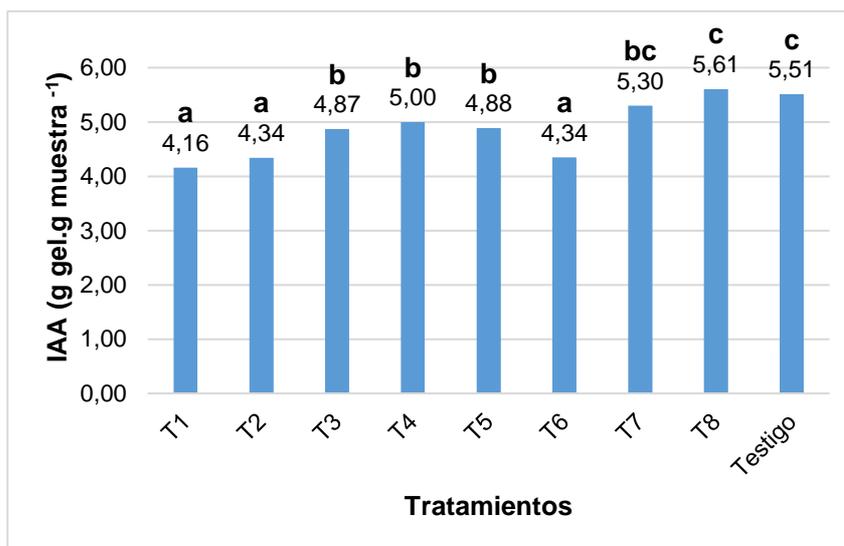
Trat.	Variables					
	Humedad	Proteína	Lípidos	Fibra	Cenizas	Carbohidratos
T1	6,06±0,00 <sup>c</sup>	18,69±0,10 <sup>a</sup>	2,01±0,07 <sup>f</sup>	2,28±0,03 <sup>a</sup>	1,00±0,01 <sup>a</sup>	72,24±0,01 <sup>a</sup>
T2	5,13±0,08 <sup>a</sup>	15,17±0,01 <sup>c</sup>	1,89±0,02 <sup>f</sup>	2,20±0,03 <sup>b</sup>	0,95±0,01 <sup>ab</sup>	76,86±0,08 <sup>d</sup>
T3	8,59±0,04 <sup>f</sup>	14,61±0,27 <sup>de</sup>	1,13±0,05 <sup>d</sup>	2,32±0,04 <sup>a</sup>	0,87±0,03 <sup>cd</sup>	74,79±0,23 <sup>b</sup>
T4	8,27±0,00 <sup>e</sup>	16,70±0,01 <sup>b</sup>	1,62±0,02 <sup>e</sup>	2,26±0,03 <sup>ab</sup>	1,00±0,02 <sup>a</sup>	72,40±0,01 <sup>a</sup>
T5	6,42±0,05 <sup>d</sup>	14,26±0,12 <sup>e</sup>	1,08±0,02 <sup>d</sup>	1,72±0,04 <sup>d</sup>	0,83±0,04 <sup>d</sup>	77,41±0,11 <sup>e</sup>
T6	5,74±0,06 <sup>b</sup>	13,29±0,11 <sup>f</sup>	0,92±0,02 <sup>c</sup>	1,70±0,02 <sup>d</sup>	0,82±0,02 <sup>d</sup>	79,23±0,10 <sup>f</sup>
T7	8,59±0,03 <sup>f</sup>	12,43±0,05 <sup>g</sup>	0,61±0,07 <sup>a</sup>	1,80±0,02 <sup>c</sup>	0,85±0,04 <sup>cd</sup>	77,51±0,16 <sup>e</sup>
T8	8,29±0,14 <sup>e</sup>	14,68±0,03 <sup>d</sup>	0,74±0,03 <sup>b</sup>	1,77±0,02 <sup>cd</sup>	0,91±0,01 <sup>bc</sup>	75,39±0,03 <sup>c</sup>
Testigo	5,13±0,05 <sup>a</sup>	8,32±0,21 <sup>h</sup>	0,54±0,02 <sup>a</sup>	0,64±0,01 <sup>e</sup>	0,57±0,01 <sup>e</sup>	85,44±0,27 <sup>f</sup>

Xm/DS; Medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).  
Valores promedio  $\pm$  S.D. (n=3)

## 4.2.2 EVALUACIÓN DE PROPIEDADES FUNCIONALES EN LOS PRODUCTOS EXTRUIDOS

### 4.2.2.1 Índice de absorción de agua (IAA)

El IAA es una medida del grado de gelatinización del almidón y de la capacidad de absorción de agua de los componentes del material alimenticio después del proceso de extrusión (Contreras-Jiménez, Morales-Sánchez, Reyes-Vega & Gaytán-Martínez, 2014). En la Figura 27 se presentan los valores de índice de absorción de agua (IAA) de cada uno de los productos obtenidos en el proceso de extrusión, donde se observan valores que oscilan de 4,16 a 5,61 g gel.g muestra<sup>-1</sup>.



**Figura 27.** IAA de los productos extruidos con sus respectivos rangos Tukey

Los resultados del análisis de varianza (Tabla 30) muestran que los factores principales: **A** (fórmula de la mezcla), **B** (humedad de la mezcla); la interacción **BC** (humedad de la mezcla vs temperatura de extrusión) y la interacción triple **ABC** (fórmula de la mezcla- humedad de la mezcla- temperatura de extrusión), influyeron de manera altamente significativa ( $p \leq 0.01$ ) sobre el IAA del producto extruido. Así también, el análisis estadístico reportó que los tratamientos y la comparación del testigo con el resto de tratamientos, presentaron diferencias estadísticas altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ).

Por tanto, al existir diferencias significativas, se realizó la prueba Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ) a los tratamientos y la prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS  $\alpha \leq 0.05$ ) a los factores.

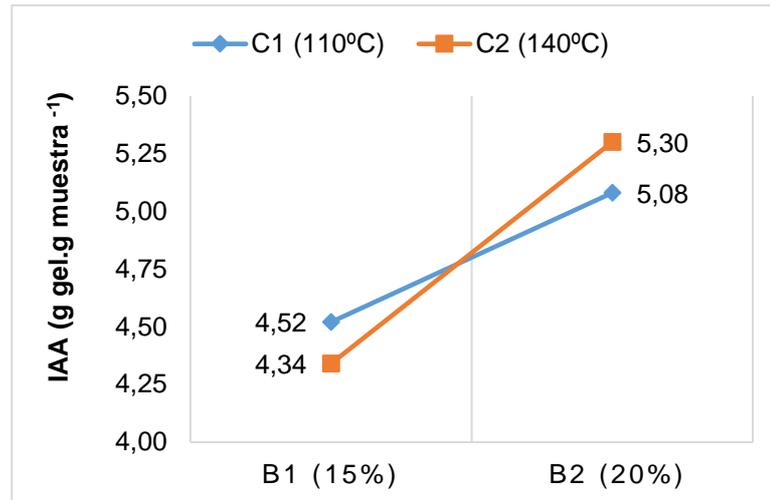
En el presente estudio, se desea bajos valores de IAA. La prueba de comparación múltiple Tukey al 5% (Figura 27), determinó tres rangos con diferencias estadísticas significativas, donde los tratamientos T1 (70:15:15; 15% humedad de la mezcla y 140°C de temperatura de extrusión), T2 (70:15:15; 15% humedad de la mezcla y 140°C de temperatura de extrusión) y T6 (80:10:10; 15% humedad de la mezcla y 140°C de temperatura de extrusión), registraron valores inferiores de IAA de 4,16 y 4,34 g gel.g muestra<sup>-1</sup>, respectivamente para T1 y T2, T6, con relación a los demás tratamientos. Por tanto, se ubicaron en el rango (**a**).

Por otra parte, los tratamientos T7 (80:10:10; 20% humedad de la mezcla y 110°C de temperatura de extrusión), el Testigo (100% maíz) y T8 (80:10:10; 20% humedad de la mezcla y 140°C de temperatura de extrusión) registraron valores superiores de IAA de 5,30, 5,51 y 5,61 g gel.g muestra<sup>-1</sup>, respectivamente, con relación a los demás tratamientos. Por tanto, se localizaron en el último rango (c).

Las pruebas de funcionalidad DMS ( $\alpha < 0.05$ ) para los factores **A** y **B** (ANEXO 6), mostraron una diferencia significativa para los dos niveles de formulación de mezcla: **A1** (70:15:15) y **A2** (80:10:10) y humedad en la mezcla: **B1** (15%) y **B2** (20%), sobre el IAA del snack extruido. Donde, la fórmula con mayor sustitución de maíz por chocho y papa **A1** y baja humedad en la mezcla **B1**, tuvieron mayor efecto en la obtención de snacks extruidos con bajo IAA. Similar comportamiento fue reportado por Valenzuela-Lagarda et al. (2017) en la extrusión de una formulación a base de harinas de calamar, papa y maíz.

La disminución significativa del IAA en los extruidos, por efecto de la sustitución parcial del maíz con chocho y papa (de 20 a 30%) en la formulación, se produjo debido posiblemente al incremento en los contenidos de grasa, proteína y la consecuente disminución de almidón y amilopectina en la formulación, influenciado principalmente por el chocho. Al respecto Alam et al. (2015) y Bouvier & Campanella (2014) afirman que la grasa actúa como lubricante lo que conlleva a una disminución de la fuerza de cizalla y por ende del grado de gelatinización del almidón, obteniendo así bajos valores de IAA.

No obstante, el almidón gelatinizado posee mayor capacidad de retención de agua que la proteína, por tanto, la reducción de almidón reduce el IAA (Allen, Carpenter, y Walsh, 2007). Asimismo, los almidones de maíz y papa poseen altos contenidos de amilopectina. Allen et al. (2007) y Ding et al. (2006) indican que la amilopectina tiene mayor capacidad de absorción de agua con relación a la amilosa, de tal manera que almidones con alto contenido de este biopolímero presentan mayor IAA.



**Figura 28.** Interacción de Factores BC (Humedad de Mezcla vs Temperatura) en la variable IAA.

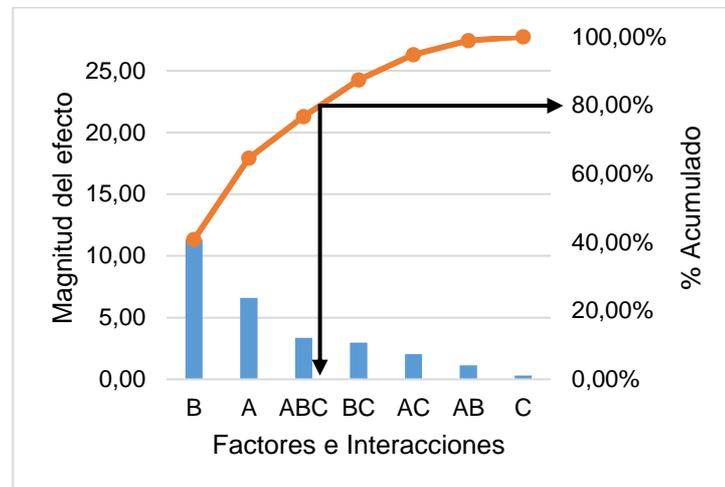
Gelatinización, es la conversión de almidón crudo a un material cocido y digerible mediante la aplicación de agua y calor, donde la máxima gelatinización se produce a baja humedad y elevadas temperaturas (Ding et al., 2005).

En el presente estudio, se observó que el IAA en el extruido aumenta al incrementar el contenido de humedad en la mezcla de 15% a 20%, en particular a altas temperaturas de extrusión (140°C) (Figura 28). El particular efecto de la humedad y la temperatura en el IAA, estuvo de acuerdo con anteriores investigaciones Gulati et al. (2016); Seth et al. (2015).

Gulati et al. (2016) indicaron que al aumentar la humedad en el alimento, aumenta la movilidad de los gránulos de almidón en el troquel, de ese modo mejora la penetración del calor, resultando en un mayor grado de gelatinización (Seth et al., 2015).

Sin embargo, con resultados similares a este estudio, Lazou & Krokida (2010) y Sobukola et al. (2013) manifiestan que el IAA disminuye con el aumento de la temperatura y la disminución de la humedad en el alimento, ya que bajo estas condiciones de operación, aumenta la energía mecánica específica generada por el esfuerzo de cizalla en el barril. Por tanto, produce mayor daño mecánico al almidón y como consecuencia, el grado de fusión y dextrinización del almidón prevalecerán sobre su grado de gelatinización (Ding et al., 2006; Ding et al., 2005).

Asimismo, Seth et al. (2015) mencionan que a mayor temperatura de extrusión en mezclas con contenidos de humedad mayor al 18%, el gránulo de almidón se rompe y más agua se une a la molécula de almidón, lo que resulta en un aumento del IAA.



**Figura 29.** Diagrama de Pareto para IAA

La magnitud de los efectos de los factores e interacciones en estudio, es presentado en el Diagrama de Pareto (Figura 29). Donde se aprecia, en orden de importancia, que los factores e interacciones de mayor efecto sobre el IAA del extruido son: humedad de la mezcla (**B**) y fórmula de la mezcla (**A**), con una magnitud de efecto del 40,80% y 23,74% sobre esta variable, respectivamente. Por tanto, influyen con el 64,54% de la variabilidad total en el IAA del extruido.

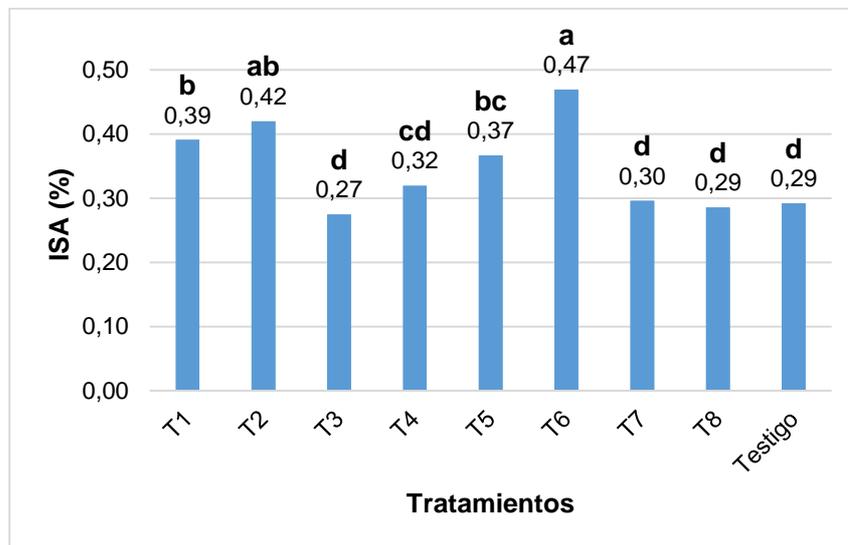
Esto afirma que el factor más influyente sobre el IAA de los productos extruidos fue la humedad de la mezcla.

Por lo tanto, los mejores tratamientos en esta variable (extruidos con bajos valores de IAA) dentro de los parámetros establecidos en la presente investigación se obtienen al extruir fórmulas alimenticias de maíz, chocho y papa en una proporción 70:15:15, respectivamente, con 15% de humedad a temperaturas de extrusión de 110°C o 140°C.

#### 4.2.2.2 Índice de solubilidad en agua (ISA)

El ISA es un indicador de la degradación de los componentes moleculares, mide el grado de conversión del almidón durante la extrusión que es la cantidad de

polisacárido soluble liberado del componente de almidón después de la extrusión (Ding et al., 2005). La Figura 30 presenta los valores de ISA de los snacks obtenidos en el proceso de extrusión, donde se distingue valores que oscilan de 0,27% a 0,47%.



**Figura 30.** ISA de los productos extruidos (%) con sus respectivos rangos Tukey

En esta investigación, el ISA mantuvo una relación inversamente proporcional con el IAA. El análisis de varianza presentado en la Tabla 30, revela que los factores principales: **B** (humedad de la mezcla) y **C** (temperatura de extrusión); y la interacción triple **ABC** (fórmula de la mezcla - humedad de la mezcla - temperatura de extrusión), influyeron de manera altamente significativa ( $p \leq 0.01$ ), mientras la interacción **BC** (humedad de la mezcla vs temperatura de extrusión) influyó de manera significativa ( $p \leq 0.05$ ) en el ISA del producto extruido. Así también, el análisis estadístico reportó que los tratamientos y la comparación del testigo con el resto de tratamientos, presentaron diferencias estadísticas altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ).

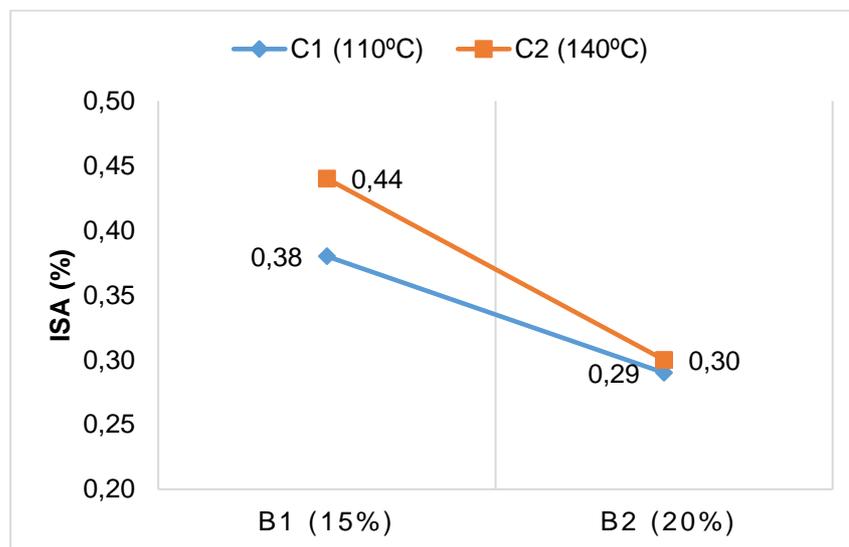
Por tanto, al existir diferencias significativas, se realizó la prueba Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ) a los tratamientos y la prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS  $\alpha \leq 0.05$ ) a los factores.

En el presente estudio se requieren extruidos con altos valores de ISA. La prueba de comparación múltiple Tukey al 5% (Figura 30), determinó cuatro rangos con

diferencias estadísticas significativas, donde los tratamientos T6 (80+10:10; 15% humedad de la mezcla y 140°C de temperatura de extrusión) y T2 (70:15:15; 15% humedad de la mezcla y 140°C de temperatura de extrusión), registraron valores superiores de ISA, de 0,47% y 0,42%, respectivamente con relación a los demás tratamientos. Por lo tanto, se ubicaron en el rango (a).

Por otra parte, los tratamientos T4, T7, T8, T3 y el testigo (100% maíz), la mayoría de estos, con una formulación de mayor contenido de maíz, registraron valores bajos de ISA de 0,32%, 0,30%, 0,27%, 0,27% y 0,29%, respectivamente, con relación a los demás tratamientos, por tanto se ubicaron en el rango (d)

Las pruebas de funcionalidad DMS ( $\alpha < 0.05$ ) para los factores **B** y **C** (ANEXO 7), mostraron una diferencia significativa para los dos niveles de humedad en la mezcla: **B1** (15%) y **B2** (20%) y temperatura de extrusión: **C1** (110 °C) y **C2** (140 °C), sobre el ISA del snack extruido. Donde, la formulación con baja humedad en la mezcla **B1** y la alta temperatura de extrusión **C2**, tuvieron mayor efecto en la obtención de snacks extruidos con alto ISA. Similar comportamiento fue reportado por Valenzuela-Lagarda et al. (2017) en la extrusión de una formulación a base de harinas de calamar, papa y maíz



**Figura 31.** Interacción de Factores BC (Humedad de Mezcla vs Temperatura) en la variable ISA.

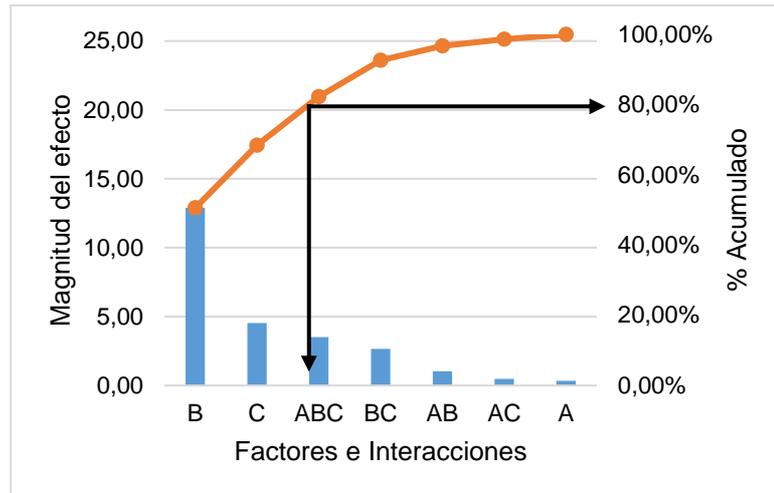
El efecto combinado de los factores **BC**, es observado en la Figura 31, la cual muestra que al reducir el contenido de humedad en la mezcla de 20% a 15%,

aumenta el ISA del snack, en particular a altas temperaturas de extrusión (140°C). Jin, Hsieh y Huff (1995) (como se citaron en Altan, 2012) y Ramos et al. (2015) informaron que el ISA depende de la cantidad de moléculas solubles lo cual está relacionado con la degradación del almidón.

Así, el ISA en los extruidos aumenta en presencia de moléculas de almidón dañadas o dextrinizadas (Sarifudin & Assiry, 2014). En efecto, de acuerdo a los resultados obtenidos, Yagci y Gogus (2008) (como se citaron en Gulati et al., 2016) mencionan que la degradación por cizallamiento del almidón a humedades más bajas, hace que los fragmentos de almidón sean más solubles en agua, mientras a elevadas humedades en la mezcla puede provocarse un efecto plastificante en los gránulos de almidón, lo cual evita la degradación por cizallamiento.

Por su parte, Allen et al. (2007) aseveran que para maximizar la estabilidad del material expandido (reduciendo así el retroceso elástico), el grado de degradación de los gránulos de almidón debe continuar, más allá de la gelatinización hacia la dextrinización. Sin embargo, una elevada dextrinización generada a temperaturas de extrusión superiores a 180°C (Ding et al., 2005), producen un efecto perjudicial sobre la expansión (Allen et al., 2007).

Asimismo, Seth et al. (2015) en su investigación de extruidos de harina de mijo proso, concluyeron que el aumento de la temperatura, incrementa el grado de degradación del almidón, por tanto aumenta la cantidad de almidón soluble en el extruido. Es decir, a mayor temperatura de extrusión, mayor ISA (Neder-suárez et al., 2016).



**Figura 32.** Diagrama de Pareto para ISA

La magnitud de los efectos de los factores e interacciones en estudio, es presentado en el Diagrama de Pareto (Figura 32). Donde se aprecia, en orden de importancia, que los factores e interacciones de mayor efecto sobre el ISA del extruido son: humedad de la mezcla (**B**) y temperatura de extrusión (**C**), con una magnitud de efecto del 50,62% y 17,82% sobre esta variable, respectivamente. Por tanto, influyen con el 68,44% de la variabilidad total en el ISA del extruido.

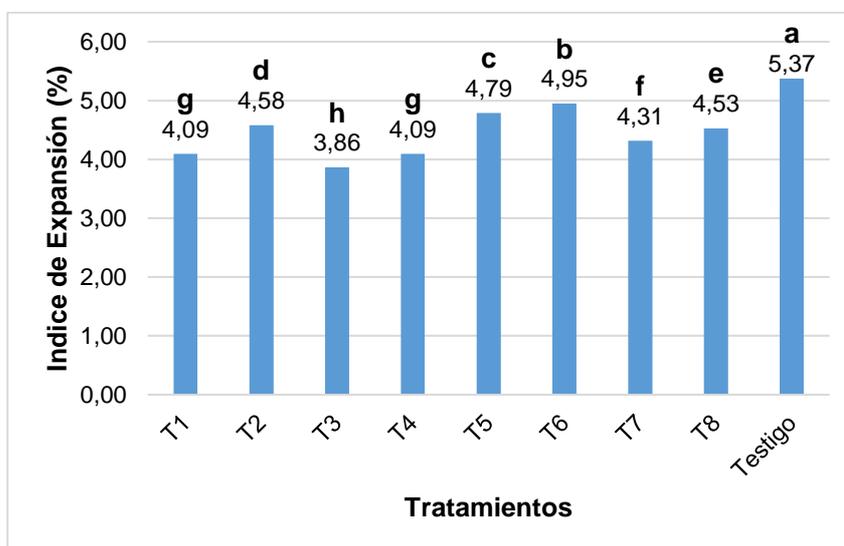
Esto afirma que el factor más influyente sobre el ISA de los productos extruidos fue la humedad de la mezcla.

Por lo tanto, los mejores tratamientos en esta variable (extruidos con altos valores de ISA) dentro de los parámetros establecidos en la presente investigación se obtienen al extruir formulaciones alimenticias de maíz, chocho y papa en ambas proporciones 70:15:15 y 80:10:10, respectivamente, con 15% de humedad a altas temperaturas de extrusión 140°C.

#### **4.2.2.3 Índice de Expansión (IE)**

La textura es una de las propiedades más importantes de los snacks extruidos, la cual está muy relacionada al índice de expansión (Philipp et al., 2017). El valor de la expansión en los alimentos depende de la diferencia entre la presión de vapor del agua y la presión atmosférica, así como la capacidad del producto saliente para sostener la expansión (Singh & Majumdar, 2012).

En la Figura 33 se presenta el IE de los productos obtenidos en el proceso de extrusión, donde se distingue que los tratamientos resultantes de los factores de estudio, registraron valores que oscilan de 3,86% a 4,95%, inferiores al testigo (100% maíz) quien presentó un valor de 5,37%.



**Figura 33.** IE de los Productos Extruidos con sus respectivos rangos Tukey

Los resultados del análisis de varianza (Tabla 30) reflejan que los factores principales: **A** (fórmula de la mezcla), **B** (humedad de la mezcla), **C** (temperatura de la cámara de extrusión); las interacciones: **AB** (fórmula de la mezcla vs humedad de la mezcla), **AC** (fórmula de la mezcla vs temperatura de extrusión), **BC** (humedad de la mezcla vs temperatura de extrusión); y la interacción triple **ABC** (fórmula de la mezcla- humedad de la mezcla - temperatura de extrusión), tuvieron un efecto altamente significativo ( $p \leq 0.01$ ) en el índice de expansión del producto extruido. Así también, el análisis estadístico reportó que los tratamientos y la comparación del testigo con el resto de tratamientos, presentaron diferencias estadísticas altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ).

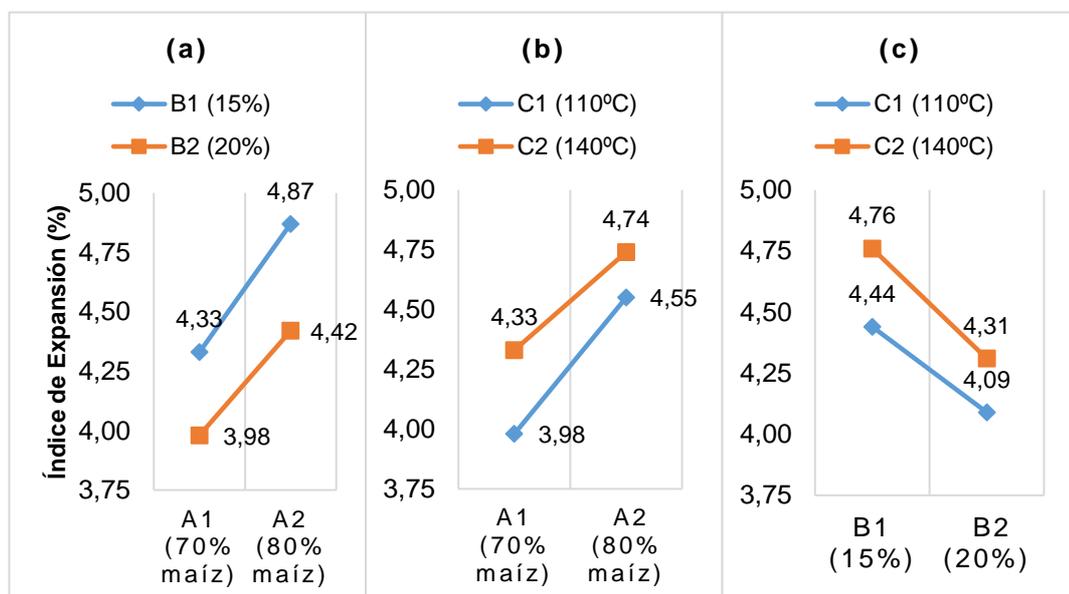
Por tanto, al existir diferencias significativas, se realizó la prueba Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ) a los tratamientos y la prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS  $\alpha \leq 0.05$ ) a los factores.

La prueba de comparación múltiple, Tukey al 5%, determinó ocho rangos con diferencias estadísticas significativas, donde los tratamientos T6 y T5, ambos

provenientes de la formulación de mezcla de 80:10:10, 15% humedad de la mezcla y temperaturas de extrusión de 140°C y 110°C, respectivamente, registraron valores superiores de IE de 4,95% y 4,79%, con relación a los demás tratamientos resultantes de los factores de estudio. Por tanto, se ubicaron en los rangos **(b)** y **(c)**, Sin embargo, los citados tratamientos se ubicaron por debajo del testigo (100% maíz), quien se ubicó en el rango **(a)** con un valor de 5,37%.

Por otra parte, el tratamiento T3 (70:15:15; 20% humedad de la mezcla y 110°C de temperatura de extrusión) registró el IE más bajo (3,86%). Por lo tanto, se localizó en el último rango **(g)**.

Las pruebas de funcionalidad DMS ( $\alpha < 0.05$ ) para los factores **A**, **B** y **C** (ANEXO 8), mostraron una diferencia significativa para los dos niveles de formulación de mezcla: **A1** (70:15:15) y **A2** (80:10:10), humedad en la mezcla: **B1** (15%) y **B2** (20%) y temperatura de extrusión: **C1** (110 °C) y **C2** (140 °C), sobre el índice de expansión del snack extruido. Donde, la formulación con menor contenido de chocho y papa **A1**, el bajo contenido de humedad en la mezcla **B1** y la alta temperatura de extrusión **C2**, tuvieron mayor efecto en la obtención de snacks extruidos con mayor IE.



**Figura 34.** Interacción de Factores: **a)** AB (Fórmula de mezcla vs Humedad de Mezcla); **b)** AC (Fórmula de mezcla vs Temperatura) y **c)** BC (Humedad de Mezcla vs Temperatura), respectivamente en la variable IE.

El efecto combinado de los factores **AB**, es observado en la Figura **34a**, la cual muestra que el IE del snack aumentó al reducir la sustitución de maíz con chocho y papa, de 30% a 20% en la formulación, y la humedad de la mezcla de 20% a 15%. Resultados similares fueron registrados por Pérez et al. (2017) y Valenzuela-Lagarda et al. (2017).

Los resultados alcanzados en este estudio, fueron ocasionados posiblemente por el aumento en el contenido de almidón así como de amilopectina en la formulación, brindados por el maíz y la papa, esta última con valores superiores (Tabla 23), y consecuentemente la reducción del contenido proteico por parte del chocho. Valores de almidón superiores al 60% generan extruidos con altos índices de expansión (Guy, 2001).

Alam et al. (2015) y Bouvier & Campanella (2014) menciona que durante la extrusión, el almidón genera estructuras con mayor número de poros y tamaño, lo que favorecen la expansión. Asimismo, la amilopectina posee mayor afinidad con el agua que la amilosa, particularmente la amilopectina de la papa (almidón tipo B) debido a la presencia de grupos éster-fosfatos en sus moléculas, lo cual proporciona una rápida gelatinización del almidón (Ai & Jane, 2018). En consecuencia, mejora la capacidad de expansión.

Por su parte, la forma poligonal de los gránulos del almidón de maíz genera un mayor esfuerzo cortante con relación a los gránulos de la papa, quienes presentan una forma ovalada. Por tanto, los gránulos de maíz aumentan la energía mecánica al interior del extrusor y, a su vez, el grado de expansión del extruido (Guy, 2001).

Por lo tanto, incorporar chocho a la mezcla, produce un efecto negativo en el IE de los snacks extruidos, debido posiblemente a sus altos contenidos de proteína, grasa y fibra (Tabla 23), los cuales según Moscicki (2011) actúan como nutrientes limitantes de la expansión en extruidos. Un resultado similar de reducción en la expansión radial de los snacks extruidos obtenidos a partir de la adición de 10-40% de ñame (el cual contiene altos contenidos de proteína y fibra) a las mezclas de harinas de maíz/arroz de 60-90% (relación 1:1), fue reportado por Seth et al. (2015).

La capacidad de expansión de los extruidos posiblemente disminuye cuando se genera una baja conversión del almidón o gelatinización. En efecto, Shirani y Ganesharanee (2009) mencionan que las proteínas y la fibra compiten con las fracciones de almidón por el agua libre que se encuentra en la matriz. Además, Altan (2012) señala que los lípidos evitan que el almidón absorba agua debido a que actúan como lubricantes, reduciendo así la degradación mecánica de los gránulos de almidón por cizallamiento; por lo tanto se produce un retraso en la gelatinización del almidón.

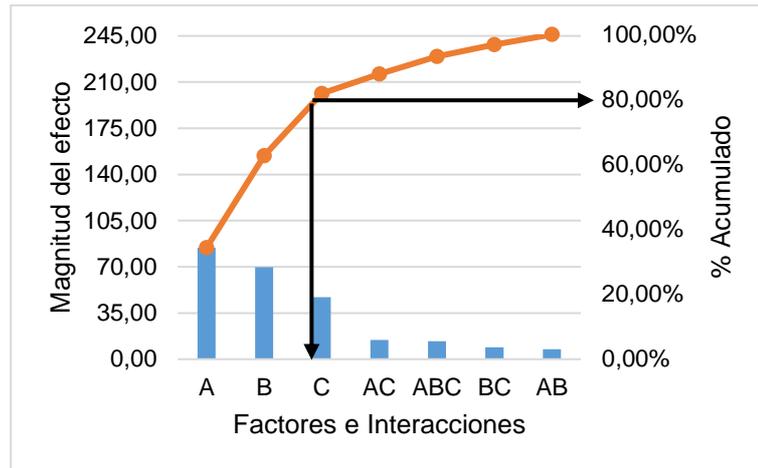
Similares resultados son observados en la Figura **34b** (interacción **AC**), la cual muestra que los snacks con IE más altos, se obtiene al utilizar formulaciones 80:10:10 y temperaturas de extrusión de 140°C.

Por otra parte, el efecto de la interacción **BC**, es observado en la Figura **34c**, quien muestra que el IE de los extruidos aumenta a medida que se disminuye el contenido de humedad en la mezcla de 20% a 15% y se aumenta temperatura de extrusión de 110°C a 140°C. El efecto de la humedad en la mezcla fue más significativo.

En la investigación de Oke, Awonorin, Sanni, Asiedu y Aiyedun (2013) acerca del efecto de la humedad sobre la expansión radial de snacks extruidos de harina de ñame, concluyen que al disminuir el contenido de humedad en las formulaciones, aumenta el esfuerzo cortante y consecuentemente la presión en el troquel, resultando en una mayor expansión del extruido a la salida del extrusor.

En efecto, el agua actúa como plastificante en la extrusión, reduciendo las temperaturas de transición vítrea y fusión del almidón (Steel et al., 2012). Ding, et al. (2005) afirma que el aumento del contenido de humedad en la alimentación cambia la estructura molecular de la amilopectina del material durante la extrusión, reduciendo la elasticidad de la masa fundida y la expansión del producto. Por tanto, aumenta la densidad del extruido.

Por otra parte, Moscicki (2011) indica que al aumentar la temperatura del barril, aumenta tanto el grado de gelatinización y fusión del almidón, como la evaporación del agua libre a la salida del extrusor. Por consiguiente, aumenta la expansión y el fortalecimiento de la estructura del extruido.



**Figura 35.** Diagrama de Pareto para IE

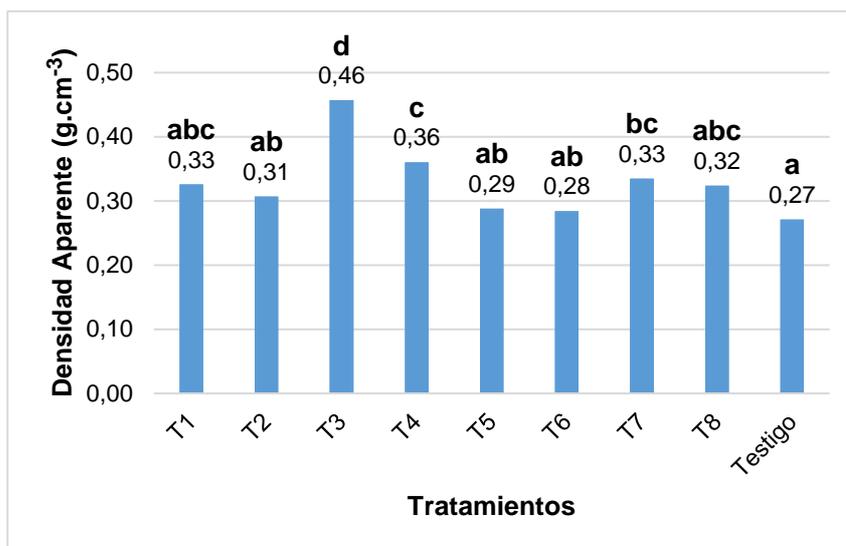
La magnitud de los efectos de los factores e interacciones en estudio, es presentado en el Diagrama de Pareto (Figura 35). Donde se aprecia, en orden de importancia, que los factores e interacciones de mayor efecto sobre el IE del extruido son: fórmula de la mezcla (**A**) y humedad de la mezcla (**B**), con una magnitud de efecto del 34,38% y 28,33% sobre esta variable, respectivamente. Por tanto, influyen con el 62,71% de la variabilidad total en el IE del extruido.

Esto afirma que el factor más influyente sobre el IE de los productos extruidos fue la formulación de la mezcla.

Por lo tanto, los mejores tratamientos en esta variable (extruidos con altos valores de IE) dentro de los parámetros establecidos en la presente investigación se obtienen al extruir formulaciones alimenticias de maíz, chocho y papa en proporción 80:10:10, respectivamente, con 15% de humedad a altas temperaturas de extrusión 140°C.

#### **4.2.2.4 Densidad Aparente (DA)**

En la Figura 36 se presenta la densidad aparente perteneciente a los productos obtenidos en el proceso de extrusión, donde se distingue valores que oscilan de 0,27 a 0,46 g.cm<sup>-3</sup>.



**Figura 36.** DA de los Productos Extruidos con sus respectivos rangos Tukey

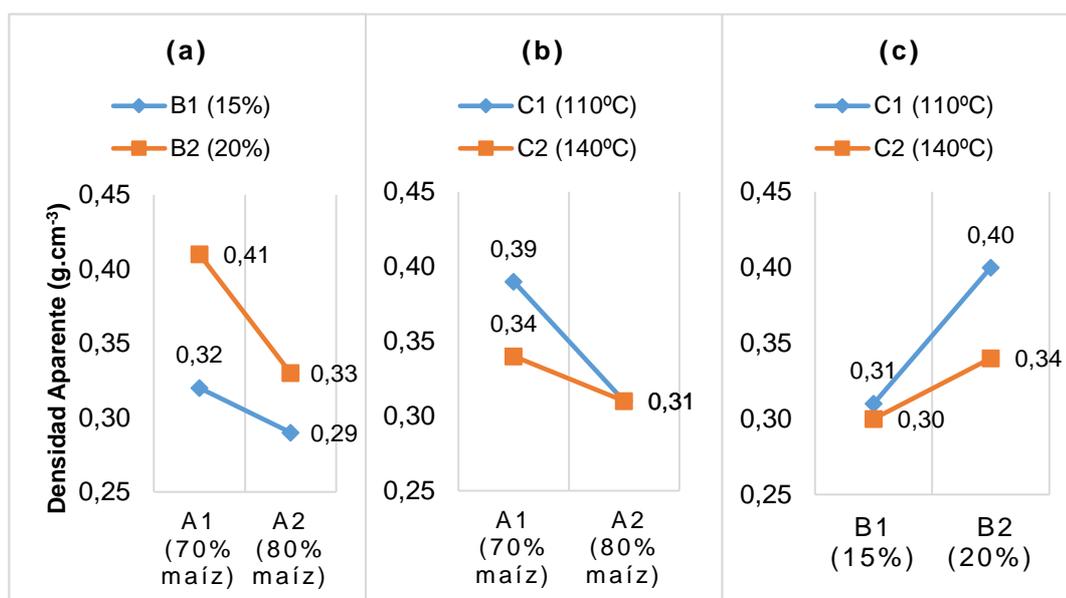
En el presente estudio, se reportó una relación inversamente proporcional entre la DA y el IE. Los resultados del análisis de varianza (Tabla 30) reflejan que los factores principales: **A** (fórmula de la mezcla), **B** (humedad de la mezcla), **C** (temperatura de la cámara de extrusión); las interacciones: **AB** (fórmula de la mezcla vs humedad de la mezcla), **AC** (fórmula de la mezcla vs temperatura de extrusión), **BC** (humedad de la mezcla vs temperatura de extrusión); y la interacción triple **ABC** (fórmula de la mezcla- humedad de la mezcla - temperatura de extrusión), tuvieron un efecto altamente significativo ( $p \leq 0.01$ ) en la densidad aparente del producto extruido. Así también, el análisis estadístico reportó que los tratamientos y la comparación del testigo con el resto de tratamientos, presentaron diferencias estadísticas altamente significativas ( $p \leq 0.01$ ).

Por tanto, al existir diferencias significativas, se realizó la prueba Tukey ( $\alpha \leq 0.05$ ) a los tratamientos y la prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS  $\alpha \leq 0.05$ ) a los factores.

La prueba de comparación múltiple Tukey al 5% (Figura 36), determinó cuatro rangos con diferencias estadísticas significativas, donde el testigo (100% maíz) se ubicó en el rango (**a**) y los tratamientos T5, T6 y T2 se ubicaron en los rangos (**ab**), puesto que registran valores inferiores de densidad aparente, comprendidos entre 0,28 y 0,31 g.cm<sup>-3</sup>, con relación a los demás tratamientos.

Por otra parte, el tratamiento T3 (70:15:15; 20% humedad de la mezcla y 140°C de temperatura de extrusión), registró un valor superior de DA (0,46 g.cm<sup>-3</sup>) con relación a los demás tratamientos, Por lo que se localizó en el último rango (**d**).

Las pruebas de funcionalidad DMS ( $\alpha < 0.05$ ) para los factores **A**, **B** y **C** (ANEXO 9), mostraron una diferencia significativa para los dos niveles de formulación de mezcla: **A1** (70:15:15) y **A2** (80:10:10), humedad en la mezcla: **B1** (15%) y **B2** (20%) y temperatura de extrusión: **C1** (110 °C) y **C2** (140 °C), sobre la densidad aparente del snack extruido. Donde, la fórmula con menor contenido de chocho y papa **A1**, el bajo contenido de humedad en la mezcla **B1** y la alta temperatura de extrusión **C2**, tuvieron mayor efecto en la obtención de snacks extruidos con menor DA.



**Figura 37.** Interacción de Factores: **a)** AB (Fórmula de mezcla vs Humedad de Mezcla); **b)** AC (Fórmula de mezcla vs Temperatura) y **c)** BC (Humedad de Mezcla vs Temperatura), respectivamente en la variable DA.

El efecto combinado de los factores **AB**, es observado en la Figura 37a, la cual muestra que la DA del snack extruido disminuye al aumentar el contenido de maíz a la formulación (de 70% a 80%) y disminuir el contenido de humedad en la mezcla de 20% a 15%. La incorporación de chocho a la mezcla posiblemente incrementó la DA en los snacks. El chocho posee altos contenidos de proteína y fibra (Wrigley et al., 2016).

Hood-niefer y Tyler (2010) señalan que la proteína disminuye la fuerza cortante dentro del barril, reduciendo así la presión del troquel y creando un diferencial de presión más bajo entre el troquel y la atmósfera lo que resulta en una reducida cantidad de agua evaporada por sobrecalentamiento, por tanto el IE disminuye y la DA aumenta.

Asimismo, Kasprzak et al., (2013) manifiestan que el aumento en el contenido de proteína y fibra en las mezclas de materiales a extruir, conlleva a un incremento en la densidad de los productos extruidos, puesto que éstos componentes generan una ruptura prematura de las celdas de aire a la salida del extrusor y consecuentemente extruidos más compactos.

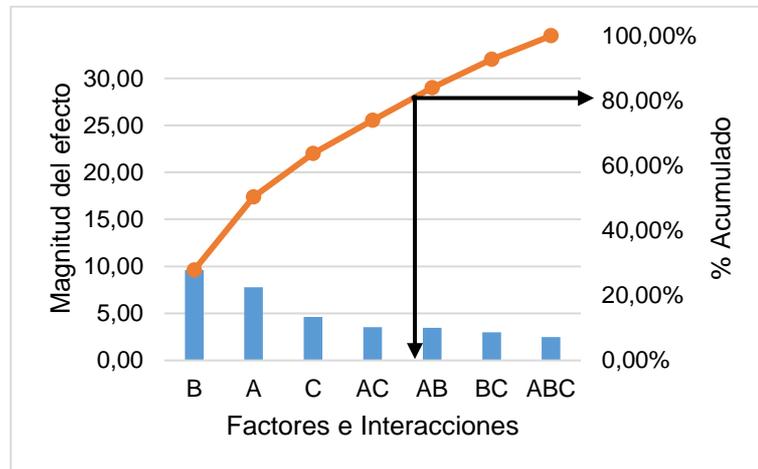
El efecto de la interacción **AC**, observado en la Figura **37b** confirma lo mencionado, donde los snacks con valores de DA más bajos, se obtienen al utilizar mezclas de maíz, chocho y papa en proporción 80:10:10 a temperaturas de extrusión de 110°C o 140°C.

Por otra parte, el efecto combinado de los factores **BC**, es observado en la Figura **37c**, la cual muestra que al reducir el contenido de humedad en la mezcla de 20% a 15%, disminuye la DA en el extruido, ya sea aplicando una temperatura de extrusión de 110°C o 140°C. Resultados similares fueron obtenidos por Ding et al. (2005); Gulati et al. (2016); Kasprzak et al. (2013); Seth et al. (2015); Singh y Majumdar (2012), debido a efectos ya explicados anteriormente.

Al respecto, Gulati et al. (2016) en su investigación sobre extrusión de harina de mijo de proso, informaron que obtuvieron valores de densidad aparente en un rango de 0,20 a 0,48 g.cm<sup>-3</sup>, donde los valores más bajos de densidad aparente se registraron en la alimentación con una humedad del 17% y los más altos con una humedad del 25%. Por tanto, atribuyeron que la humedad tuvo una relación directamente proporcional con la densidad aparente, mientras la temperatura tuvo menor efecto.

La magnitud de los efectos de los factores e interacciones en estudio, es presentado en el Diagrama de Pareto (Figura 38). Donde se aprecia, en orden de importancia, que los factores e interacciones de mayor efecto sobre la DA del extruido son:

humedad de la mezcla (**B**), fórmula de la mezcla (**A**) y temperatura de extrusión (**C**), con una magnitud de efecto del 27,81%, 22,53% y 13,40%, sobre esta variable, respectivamente. Por tanto, influyen con el 63,74% de la variabilidad total en la DA del extruido.



**Figura 38.** Diagrama de Pareto para DA

Esto afirma que el factor más influyente sobre la DA de los productos extruidos fue la humedad de la mezcla.

Por lo tanto, los mejores tratamientos en esta variable (extruidos con bajos valores de DA) dentro de los parámetros establecidos en la presente investigación se obtienen al extruir fórmulas alimenticias de maíz, chocho y papa en proporción 80:10:10, respectivamente, con 15% de humedad a altas temperaturas de extrusión 140°C.

La Tabla 30 representa los resultados del análisis de varianza con su respectiva significancia estadística, sobre las variables funcionales evaluadas.

**Tabla 30.** Análisis de Varianza para las Variables Funcionales evaluadas

	IAA	ISA	Índice de Expansión	Densidad Aparente	
F.V	GL	F-valor	F-valor	F-valor	F-valor
<b>Total</b>	26				
<b>Tratamientos</b>	8	30,73**	30,46**	4120,62**	35,79**
<b>A (Fórmula de la mezcla)</b>	1	43,49**	0,12 ns	8632,72**	69,23**
<b>B (Humedad de la mezcla)</b>	1	128,40**	178,14**	5864,10**	105,50**
<b>C (Temperatura de extrusión)</b>	1	0,10 ns	22,07**	2678,72**	24,51**
<b>AB</b>	1	1,30 ns	1,15 ns	69,46**	13,74**
<b>AC</b>	1	4,17 ns	0,26 ns	258,47**	14,42**
<b>BC</b>	1	8,86**	7,54*	95,82**	10,37**
<b>ABC</b>	1	11,36**	13,30**	219,58**	7,13*
<b>Testigo vs Resto</b>	1	48,17**	21,11**	15146,08**	41,41**
<b>E. exp.</b>	18				
<b>CV (%)</b>		3,36	6,24	0,29	4,94

FV: Fuentes de Variación; F-valor: valor de prueba estadística F calculada; GL: Grados de libertad; \*\*: Altamente significativo ( $p \leq 0.01$ ); \*: Significativo ( $p \leq 0.05$ ); ns: no significativo ( $p > 0.05$ ); CV (%): Coeficiente de Variación

A continuación se presenta el resumen de los valores de las variables estudiadas con su respectiva desviación estándar para cada tratamiento, donde se destacan los T6 y T2 seguidos de los T1 y T5.

**Tabla 31.** Valores de las Propiedades Funcionales correspondientes a los tratamientos del Snack Extruido con sus respectivos rangos Tukey

Tratamientos	Variables			
	IAA	ISA	IE	DA
T1	4,16±0,27 <sup>a</sup>	0,39±0,02 <sup>b</sup>	4,09±0,01 <sup>g</sup>	0,33 ± 0,01 <sup>abc</sup>
T2	4,34±0,01 <sup>a</sup>	0,42±0,03 <sup>ab</sup>	4,58±0,02 <sup>d</sup>	0,31 ± 0,02 <sup>ab</sup>
T3	4,87±0,11 <sup>b</sup>	0,27±0,02 <sup>d</sup>	3,86±0,01 <sup>h</sup>	0,46 ± 0,02 <sup>f</sup>
T4	5,00±0,08 <sup>b</sup>	0,32± 0,03 <sup>cd</sup>	4,09±0,02 <sup>g</sup>	0,36 ± 0,02 <sup>c</sup>
T5	4,88±0,05 <sup>b</sup>	0,37±0,01 <sup>bc</sup>	4,79±0,00 <sup>c</sup>	0,29 ± 0,2 <sup>ab</sup>
T6	4,34±0,32 <sup>a</sup>	0,47± 0,02 <sup>a</sup>	4,95 ±0,01 <sup>b</sup>	0,28 ± 0,02 <sup>ab</sup>
T7	5,30±0,21 <sup>bc</sup>	0,30±0,02 <sup>d</sup>	4,31±0,01 <sup>f</sup>	0,33 ± 0,02 <sup>bc</sup>
T8	5,61±0,07 <sup>c</sup>	0,29±0,02 <sup>d</sup>	4,53±0,02 <sup>e</sup>	0,32 ± 0,03 <sup>abc</sup>
Testigo	5,51±0,04 <sup>c</sup>	0,29±0,02 <sup>d</sup>	5,37±0,01 <sup>a</sup>	0,27 ± 0,02 <sup>a</sup>

Medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ )  
Valores promedio  $\pm$  S.D. (n=3)

### 4.2.3 EVALUACIÓN DE TEXTURA EN LOS PRODUCTOS EXTRUIDOS

#### 4.2.3.1 Análisis sensorial descriptivo de la textura (dureza, crujencia, resistencia a la ruptura o fracturabilidad y adherencia) del extruido

La textura es un atributo determinante en la aceptabilidad de los alimentos, definida por Szczesniak (como se citó en Paula y Conti-silva, 2014) como la manifestación sensorial de la estructura de los alimentos y la forma en que ésta reacciona a las fuerzas aplicadas, por tanto, representa la unión de todos los atributos mecánicos, geométricos y superficiales de un producto, detectada a través de manera mecánica, táctil, visual y receptores auditivos. Los atributos como la crujencia, dureza, adhesividad y fracturabilidad o resistencia a la ruptura son los descriptores más utilizados en las investigaciones que evalúan la textura de los snacks extruidos (Ding et al., 2006; Paula y Conti-silva, 2014).

El análisis de varianza de bloques completos al azar (Tabla 32) de los atributos de textura (dureza, crujencia, resistencia a la ruptura y adherencia), determinó una diferencia altamente significativa ( $p \leq 0.01$ ) para los tratamientos. Es decir, la fórmula de mezcla (A), humedad de mezcla (B) y temperatura de extrusión (C), modificaron las características de textura de los snacks extruidos. Estas características fueron discriminadas por los panelista en los tratamientos evaluados.

**Tabla 32.** Análisis de Varianza de la textura descriptiva de los Snacks Extruidos

F.V	GL	Dureza	Crujencia	R. Ruptura	Adherencia
		F-valor	F-valor	F-valor	F-valor
<b>Total</b>	89				
<b>Tratamientos</b>	8	101,19**	37,94**	81,71**	41,36**
<b>Panelistas</b>	9	4,89**	0,65 ns	1,35 ns	1,04 ns
<b>E. exp.</b>	72				
<b>CV (%)</b>		6,98	10,88	9,46	11,67

FV: Fuentes de Variación; F-valor: valor de prueba estadística F calculada; GL: Grados de libertad  
 \*\*: Altamente significativo ( $p \leq 0.01$ ); ns: no significativo ( $p > 0.05$ ); CV (%): Coeficiente de Variación

Para determinar cuáles fueron los tratamientos que difirieron significativamente entre sí para cada atributo de textura evaluado, se realizó la prueba de comparación múltiple Tukey ( $p \leq 0.05$ ) ver Tabla 33.

**Tabla 33.** Calificaciones de la textura descriptiva de los tratamientos con sus respectivos rangos Tukey

Tratamientos	Atributos de Textura			
	Dureza	Crujencia	R. Ruptura	Adherencia
<b>T1</b>	6,15±0,34 <sup>e</sup>	5,45±0,44 <sup>c</sup>	5,15±0,41 <sup>ef</sup>	2,60±0,39 <sup>ab</sup>
<b>T2</b>	4,90±0,39 <sup>cd</sup>	3,85±0,34 <sup>ab</sup>	3,25±0,42 <sup>bc</sup>	3,10±0,57 <sup>bc</sup>
<b>T3</b>	5,10±0,61 <sup>d</sup>	5,50±0,53 <sup>c</sup>	5,40±0,39 <sup>fg</sup>	2,10±0,32 <sup>a</sup>
<b>T4</b>	6,30±0,35 <sup>e</sup>	5,65±0,47 <sup>c</sup>	5,85±0,34 <sup>g</sup>	2,40±0,32 <sup>a</sup>
<b>T5</b>	3,70±0,26 <sup>b</sup>	3,40±0,46 <sup>a</sup>	3,15±0,34 <sup>b</sup>	3,40±0,39 <sup>cd</sup>
<b>T6</b>	4,45±0,44 <sup>c</sup>	3,95±0,60 <sup>ab</sup>	3,75±0,42 <sup>cd</sup>	3,30±0,26 <sup>cd</sup>
<b>T7</b>	5,05±0,50 <sup>d</sup>	5,35±0,63 <sup>c</sup>	3,95±0,28 <sup>d</sup>	3,80±0,35 <sup>d</sup>
<b>T8</b>	5,95±0,37 <sup>e</sup>	4,50±0,53 <sup>b</sup>	4,65±0,34 <sup>e</sup>	3,65±0,34 <sup>d</sup>
<b>Testigo</b>	3,05±0,37 <sup>a</sup>	3,25±0,26 <sup>a</sup>	2,55±0,60 <sup>a</sup>	4,55±0,37 <sup>a</sup>

Medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).  
 Valores promedio  $\pm$  S.D. (n=30)

### ➤ **Dureza**

La dureza, es la fuerza requerida para comprimir el producto extruido, misma que ha sido relacionada con la fuerza que ejercen los dientes molares para realizar una función similar en los alimentos (Paula & Conti-silva, 2014).

Los productos extruidos obtenidos en el presente estudio registraron calificaciones de dureza que oscilan de 3,05 a 6,30 (Tabla 33). Donde, la prueba de comparación múltiple, Tukey al 5%, determinó que los snacks extruidos obtenidos de formulaciones de grits con menor contenido de chocho, bajos contenidos de humedad (15%) y altas temperaturas de extrusión (140°C), obtuvieron las calificaciones de menor dureza.

Por lo tanto, al reducir la sustitución del contenido de maíz con chocho y papa en la formulación, disminuyó significativamente la dureza de los snacks extruidos. Resultados similares fueron reportados por Pérez, Peñafiel & Delgado (2017). Los resultados alcanzados en este estudio, seguramente fueron ocasionados debido a los altos contenidos almidón del maíz y la papa, ya que permiten la generación de una estructura más expandida.

Por otra parte, Ding et al. (2006) encontraron una relación negativa entre la expansión y la dureza del producto extruido. Pérez, Peñafiel & Delgado (2017) indican que al incorporar chocho a las formulaciones aumenta el contenido de proteína y disminuye el contenido de almidón, como consecuencia se obtiene extruidos con menor expansión y mayor dureza, debido a que la proteína presenta menores propiedades viscoelásticas con relación al almidón .

Asimismo, al disminuir la humedad en la formulación e incrementar la temperatura de extrusión, la dureza del extruido disminuyó. Varias investigaciones aseveran que la humedad del alimento es el factor de mayor efecto sobre la expansión del extruido. Donde, al aumentar la humedad en el material a extruir disminuye la expansión de los productos extruidos y consecuentemente su dureza (Rehal et al., 2017). Por su parte, las altas temperaturas de extrusión producen la formación de células de aire de mayor tamaño y con paredes celulares más delgadas, como

consecuencia la estructura del extruido se vuelve más suave (Altan y Maskan, 2012; Lazou & Krokida, 2010).

### ➤ **Crujencia**

La crujencia, es una percepción del ser humano que se encuentra asociada con la expansión y estructura celular del producto extruido. Así, en los alimentos extruidos expandidos, la crujencia es considerada el atributo de calidad más importante para el consumidor (Singh & Majumdar, 2012).

Cabe señalar que la crujencia se conoce al ruido generado por el extruido al momento de masticarlo, el cual es percibido por el oído externo (Varela, Salvador, & Fiszman, 2009).

El grado de crujencia de los productos extruidos varió entre 3,25 y 5,65 (Tabla 33). La prueba de comparación múltiple, Tukey al 5%, determinó que los extruidos con mayor grado de crujencia se obtuvieron de formulaciones con mayor sustitución de maíz por chocho y papa, mayor humedad de la mezcla (20%) y menor temperatura de extrusión (110°C). Por el contrario, los extruidos producidos con mayor contenido de maíz (80%), menor contenido de humedad en la mezcla (15%) y mayor temperatura de extrusión (140°C), presentaron bajos valores de crujencia, muy similares al testigo (100% maíz). Resultados contrarios a este experimento fueron reportados por Lazou & Krokida (2010) y Majumdar & Singh (2012). Esto debido posiblemente a la percepción del panel semi-entrenado. Varela et al. (2009) menciona que la crujencia es una percepción humana difícil de comprender, ya que las sensaciones en las que deberían centrarse los panelistas para evaluar la crujencia son diversas, así por ejemplo, las sensaciones táctiles, kinestésicas, visuales y auditivas.

Por otra parte, los extruidos obtenidos de formulaciones con menor contenido de chocho (leguminosa con alto contenido de proteína) y bajo las condiciones de proceso de menor contenido de humedad en la mezcla y mayor temperatura de extrusión, provocó un aumento en el radio de la burbuja y del extruido y una disminución en el grosor de la pared del mismo, lo cual generó un menor ruido al momento de masticarlo con relación a los demás tratamientos.

### ➤ **Resistencia a la ruptura**

La resistencia a la ruptura o fracturabilidad es una percepción que se relaciona con la capacidad de romper los alimentos en pedazos al morderlos utilizando los dientes incisivos (Paula & Conti-silva, 2014).

Los productos extruidos presentaron una resistencia a la ruptura con valores que oscilan de 2,55 a 5,85 (Tabla 33). La prueba de comparación múltiple, Tukey al 5%, determinó que los snacks extruidos obtenidos de formulaciones con menor contenido de chocho y papa, bajos contenidos de humedad (15%) y altas temperaturas de extrusión (140°C), obtuvieron las calificaciones de menor resistencia a la ruptura. Resultados similares fueron reportados por Lazou & Krokida (2010).

Es sabido que la disminución del contenido de humedad de los alimentos en el proceso de extrusión en caliente tiende a aumentar la energía mecánica específica y en consecuencia favorece la degradación macromolecular del almidón a través de la dextrinización (Sarifudin & Assiry, 2014; Korkerd et al., 2016). Como consecuencia se generan extruidos con paredes celulares de baja resistencia y estructuras más frágiles (Philipp et al., 2017). Por el contrario, los snacks producidos con mayor contenido de chocho (fuente de proteína) en la formulación, resultaron en estructuras más rígidas.

### ➤ **Adherencia**

La adherencia, representa el trabajo necesario para despegar el alimento de una superficie (paladar o dientes) (Hleap & Velasco, 2010). Los productos extruidos presentaron valores de adherencia que oscilan de 2,10 a 4,55 (Tabla 33). La prueba de comparación múltiple, Tukey al 5%, determinó que los snacks extruidos obtenidos de formulaciones con menor contenido de chocho y papa, bajos contenidos de humedad (15%) y altas temperaturas de extrusión (140°C), obtuvieron un mayor nivel de adherencia, similar al testigo (100% maíz).

Esta información concuerda con lo reportado por Ramos et al., (2015) en su investigación sobre las características físicas y sensoriales de aperitivos extruidos a base de maíz con contenidos de amaranto, quinua o kañiwa, afirmaron que los

extruidos con mayor contenido de amaranto, quinua y kañiwa fueron calificados con menor grado de adherencia y mayor dureza, por los panelistas.

Por el contrario, el aumento en la adherencia de los extruidos por efecto de la formulación con mayor contenido de maíz (80%), la baja humedad de la mezcla (10%) y la alta temperaturas de extrusión (140°C), podría estar asociado con el mayor grado de desnaturalización de proteínas, gelatinización de almidón y/o dextrinización, que sufren los alimentos durante la extrusión (Ramos et al., 2015).

#### 4.2.3.2 Análisis instrumental de la textura del producto extruido

La textura puede ser medida por medios objetivos (instrumental) y pruebas subjetivas intrínsecas (sensoriales) (Paula y Conti-silva, 2014). Los texturómetros imitan las condiciones de masticación y presentan una buena relación con las evaluaciones de textura sensorial, ya que comprenden la medición de propiedades fisicoquímicas discretas y bien definidas de los productos analizados (Kilcast, 2013).

El análisis de varianza (Tabla 34) de las pruebas instrumentales (compresión, corte en forma “V”, corte de guillotina, punción) utilizadas para la evaluación de la textura, determinó una diferencia altamente significativa ( $p \leq 0.01$ ) en la fuerza obtenida por cada prueba en los productos extruidos. Por lo tanto, la fórmula de la mezcla (Factor **A**), humedad de la mezcla (Factor **B**) y el perfil de temperatura de extrusión (Factor **C**), modificaron la textura de los snacks extruidos.

**Tabla 34.** Análisis de Varianza de la textura instrumental evaluada en el snack Extruido

		Compresión	Corte "V"	Corte G.	Punción
F.V	GL	F-valor	F-valor	F-valor	F-valor
<b>Total</b>	89				
<b>Tratamientos</b>	8	5,60**	54,20**	50,82**	63,74**
<b>E. exp.</b>	81				
<b>CV (%)</b>		3,55	7,03	7,56	18,61

FV: Fuentes de Variación; F-valor: valor de prueba estadística F calculada; GL: Grados de libertad  
 \*\*: Altamente significativo ( $p \leq 0.01$ ); CV (%): Coeficiente de Variación

La prueba de comparación múltiple, Tukey al 5%, de las pruebas instrumentales de textura (Tabla 35), determinó que el testigo (100% maíz) y los snacks extruidos

obtenidos de la fórmula de maíz, chocho y papa en proporción 80:10:10, con 15% de humedad (T5 y T6), mostraron valores de fuerza inferiores con respecto a los demás tratamientos. Además, se observó que la prueba de compresión mostró mayores valores de fuerza con relación a las pruebas de corte y punción, esto se produjo debido posiblemente a la mayor área de contacto que presenta la prueba de compresión con relación a las pruebas de corte y punción con el extruido. Resultados similares reportaron Conti-Silva, Bastos & Arêas (2012) y Paula & Conti-silva (2014), al evaluar diferentes tipos de snacks extruidos con pruebas y sondas análogas a las del presente estudio.

Cabe señalar que las pruebas de compresión y punción reflejan resultados similares, ya que sus funciones son de comprimir y fracturar el alimento, similar a la función que cumplen los dientes molares del ser humano (Anton y Luciano, 2007). Mientras la función de las pruebas de corte es de es de romper o quebrar el producto alimenticio en dos partes, similar a la función que cumplen los dientes incisivos con los alimentos (Szczeniak, 2002).

**Tabla 35.** Textura instrumental de los tratamientos con sus respectivos rangos Tukey

Tratamientos	Pruebas Instrumentales			
	Compresión	Corte "V"	Corte G.	Punción
T1	41,28±1,20 <sup>a</sup>	21,96±1,82 <sup>bcde</sup>	21,50±1,63 <sup>bc</sup>	5,11±0,81 <sup>b</sup>
T2	42,44±1,41 <sup>abc</sup>	21,89±1,29 <sup>bcde</sup>	21,45±1,73 <sup>bc</sup>	4,10±0,77 <sup>ab</sup>
T3	41,07±1,29 <sup>a</sup>	23,73±1,79 <sup>de</sup>	23,44±1,79 <sup>cd</sup>	7,63±1,21 <sup>c</sup>
T4	41,53±1,36 <sup>ab</sup>	24,01±1,01 <sup>e</sup>	25,20±1,43 <sup>d</sup>	11,03±1,73 <sup>d</sup>
T5	42,56±1,66 <sup>abc</sup>	20,80±1,82 <sup>b</sup>	20,93±1,14 <sup>b</sup>	3,24±0,74 <sup>a</sup>
T6	42,32±1,61 <sup>abc</sup>	21,51±1,69 <sup>bc</sup>	21,07±1,64 <sup>b</sup>	4,31±0,91 <sup>ab</sup>
T7	43,96±1,48 <sup>c</sup>	21,87±1,56 <sup>bcd</sup>	22,69±1,34 <sup>bc</sup>	6,66±1,07 <sup>c</sup>
T8	43,98±1,47 <sup>c</sup>	23,31±1,13 <sup>cde</sup>	22,46±2,24 <sup>bc</sup>	4,35±0,97 <sup>ab</sup>
Testigo	43,69±1,97 <sup>bc</sup>	12,45±1,02 <sup>a</sup>	12,28±1,20 <sup>a</sup>	2,91±0,47 <sup>a</sup>

Medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

Nota: Todos los resultados se expresan en newtons (N).

#### 4.2.3.3 Correlación entre la textura sensorial e instrumental

El estudio de las posibles relaciones lineales entre pares de análisis sensoriales descriptivos e instrumentales de textura, se realizó mediante la prueba de correlación de Pearson, sabiendo que el índice de correlación ( $r$ ) varía en un intervalo de -1 a 1, donde: valores negativos cercanos a **-1** representan una fuerte correlación negativa entre las variables, es decir cuando una de ellas aumenta, la otra disminuye en proporción constante; mientras que valores positivos cercanos a **1** representan una fuerte correlación positiva entre las variables, por lo tanto, cuando una de ellas aumenta, la otra también lo hace de manera proporcional.

**Tabla 36.** Coeficientes de correlación entre las mediciones de textura sensorial e instrumental de los snacks extruidos.

	Dureza	Crujencia	Resistencia a la Ruptura	Adherencia
Compresión	-0,359	-0,444	-0,589	0,900 <sup>**</sup>
Corte Guillotina	0,779 <sup>*</sup>	0,708 <sup>*</sup>	0,751 <sup>*</sup>	-0,749 <sup>*</sup>
Corte en "V"	0,788 <sup>*</sup>	0,662	0,737 <sup>*</sup>	-0,756 <sup>*</sup>
Punción	0,646	0,825 <sup>**</sup>	0,814 <sup>**</sup>	-0,654

<sup>\*\*</sup>. La correlación es altamente significativa ( $p \leq 0.01$ )

<sup>\*</sup>. La correlación es significativa ( $p \leq 0.05$ )

En la Tabla 36 se presentan los índices de correlación entre los valores de fuerza obtenidos en las pruebas instrumentales con las calificaciones de los atributos sensoriales de textura. Donde, se observa que entre la dureza y las pruebas de corte existe una correlación positiva significativa ( $p \leq 0.05$ ). Sin embargo, el coeficiente de correlación para la prueba de corte con una sonda en forma de "V" ( $r = 0,788$ ) fue mayor que en la prueba de corte de guillotina ( $r = 0,779$ ). Resultados similares fueron reportados por Paula & Conti-silva (2014) en su investigación.

Asimismo, se observa que la crujencia presenta una correlación positiva significativa ( $p \leq 0.05$ ) con la prueba de corte con guillotina, generando un coeficiente de correlación de 0,708. Sin embargo, el coeficiente de correlación con la prueba de la punción presentó una correlación positiva altamente significativa ( $p \leq 0.01$ ), con un coeficiente de correlación de 0,825. Resultados similares

reportaron Varela et al. (2009), quienes evaluaron la crujencia en snacks extruidos mediante análisis sensorial y pruebas instrumentales de compresión y penetración (cizallamiento), donde concluyeron que ambas pruebas instrumentales mostraron el mismo nivel de discriminación de la crujencia. Cabe señalar que las funciones de la prueba de punción son de comprimir y fracturar los productos, similar función a la que cumplen los dientes molares (Lu, 2013).

Por otra parte, las calificaciones de la resistencia a la ruptura se correlacionaron positivamente de manera significativa ( $p \leq 0.05$ ) con los resultados de las pruebas de corte con sondas de guillotina y en forma de “V”, con coeficientes de correlación de 0,751 y 0,737, respectivamente. Sin embargo, mantuvieron una correlación positiva altamente significativa ( $p \leq 0.01$ ) con la prueba de la punción, con un coeficiente de correlación de 0,814, siendo esta última superior a las anteriores pruebas. Es conveniente señalar que las pruebas de corte presentan una función similar a la que cumplen los dientes incisivos del ser humano, que es de romper o quebrar el producto alimenticio (Szczeniak, 2002). Por lo tanto, estas pruebas han sido relacionadas con la fracturabilidad y crujencia del extruido (Paula & Contisilva, 2014)

A su vez, la adherencia presentó una correlación positiva altamente significativa ( $p \leq 0.01$ ) con la prueba de compresión, donde arrojó un coeficiente de correlación de 0,900. Además, la adherencia se correlacionó negativamente de manera significativa ( $p \leq 0.05$ ) con las pruebas de corte con sondas en forma de “V” y de guillotina, con coeficientes de correlación de -0,756 y -0,749, respectivamente.

Rayner (como se citó en Leighton, Schonfeldt, & Kruger, 2010) manifestó, que un coeficiente de correlación  $\geq 0,700$  indica una correlación bastante fuerte entre las variables de estudio.

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

la punción, y la adherencia mediante la prueba de compresión, debido a que los coeficientes de correlación obtenidos son superiores de 0,700.

#### ***4.2.3.4 Caracterización del producto extruido***

El requisito más apremiante de las empresas es encontrar métodos instrumentales rápidos y económicos que permitan reducir la dependencia de paneles sensoriales (Kilcast, 2013).

Las correlaciones de Pearson permitieron interpretar cómo las pruebas instrumentales interactúan con cada uno de los atributos de textura de los snacks extruidos determinados por los panelistas. Asimismo, el análisis multivariado permite visualizar de mejor manera la relación existente entre los atributos de textura descriptiva y las pruebas instrumentales, lo que permitirá una mayor confianza en los resultados obtenidos, y a la vez conocer como el consumidor relaciona los atributos de textura de los snacks.

#### **➤ Análisis de Componentes Principales**

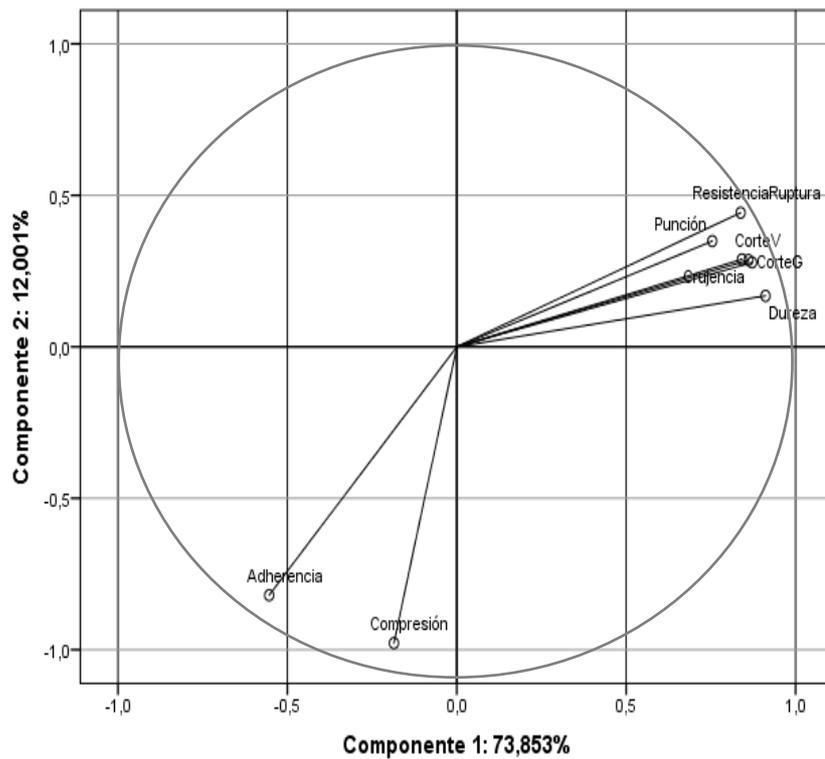
El análisis de componente principales (ACP), es una técnica que permite describir un conjunto de datos en términos de nuevos componentes (variables) en orden decreciente de acuerdo a su importancia, como también permite reducir la dimensionalidad de los mismos. Así, los primeros componentes principales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

En la Tabla 37 se presenta los componentes principales obtenidos y la variabilidad explicada para cada componente.

El análisis de componentes principales de los datos sensoriales descriptivos e instrumentales de los snacks (Tabla 37), separó dos componentes principales, donde el primero y segundo componentes principales explicaron, respectivamente, el 73,853% y el 12,001% de la variación observada (85,854% en total). El nivel de significancia de la prueba de esfericidad de Bartlett fue de 0,000, esto indica que los datos pueden ser analizados mediante el análisis de componentes principales, puesto que la matriz de correlación no es una matriz de identidad.

**Tabla 37.** Componentes principales obtenidos con su respectiva variabilidad explicada

Componentes	Autovalores Iniciales		
	Total	Varianza (%)	Varianza Acumulada (%)
1	5,908	73,853	73,853
2	0,960	12,001	85,854
3	0,649	8,108	93,961
4	0,308	3,854	97,816
5	0,105	1,312	99,127
6	0,057	0,706	99,834
7	0,012	0,147	99,980
8	0,002	0,020	100,000



**Figura 39.** Diagrama de dispersión bidimensional de los componentes principales

**Tabla 38.** Matriz de componente rotado para las variables de estudio

	<b>Matriz de componente rotado</b>	
	<b>Componente</b>	
	<b>1</b>	<b>2</b>
Corte de Guillotina	0,872	
Corte en "V"	0,841	
Punción	0,754	
Dureza	0,911	
Crujencia	0,861	
Resistencia a Ruptura	0,838	
Compresión		-0,978
Adherencia		-0,820

En la Figura 39 y la Tabla 38, se presentan los componentes principales obtenidos, con sus respectivos atributos sensoriales o pruebas instrumentales. Se observa que los atributos sensoriales (dureza, crujencia y resistencia a la ruptura) y las pruebas instrumentales de punción y de corte con forma de "V" y de guillotina, contribuyeron a explicar la varianza del componente principal 1, mientras que la prueba de compresión y el atributo sensorial de adherencia explicaron la varianza del componente 2. Estos resultados muestran que las fuerzas instrumentales derivadas de las pruebas de corte presentan una fuerte correlación con los atributos sensoriales, tal como se determinó en la correlación de Pearson.

#### **4.2.4 ANALISIS DE ACEPTABILIDAD SENSORIAL**

Se evaluó la aceptabilidad sensorial de los snacks obtenidos en el proceso de extrusión mediante una escala hedónica de 5 puntos para las características sensoriales como son: color, olor, textura y sabor. La evaluación se la realizó con un panel no entrenado de 30 panelista, conformado por estudiantes de la Universidad Técnica del Norte.

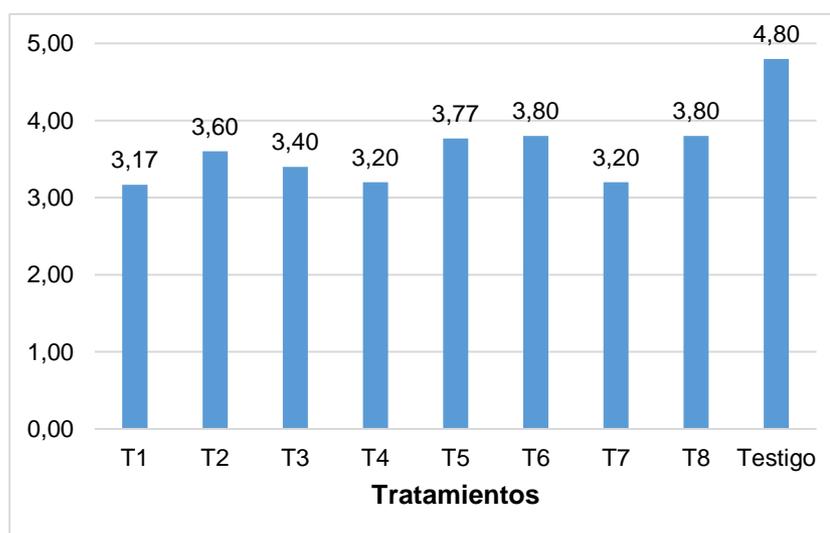
En la Tabla 39, se presenta los resultados de la evaluación sensorial de cada tratamiento con su respectivo rango estadístico.

**Tabla 39.** Resultados de la Evaluación sensorial

Tratamientos	Atributos Sensoriales			
	COLOR	OLOR	TEXTURA	SABOR
T1	3,17 ± 0,86 <sup>d</sup>	3,10 ± 0,91 <sup>e</sup>	2,87 ± 1,18 <sup>c</sup>	2,60 ± 0,84 <sup>cd</sup>
T2	3,60 ± 0,71 <sup>bc</sup>	3,83 ± 0,64 <sup>bc</sup>	3,20 ± 0,80 <sup>bc</sup>	2,67 ± 0,87 <sup>bc</sup>
T3	3,40 ± 0,76 <sup>cd</sup>	3,23 ± 0,84 <sup>e</sup>	2,90 ± 0,79 <sup>c</sup>	2,40 ± 0,71 <sup>cd</sup>
T4	3,20 ± 0,79 <sup>d</sup>	3,33 ± 0,87 <sup>e</sup>	2,27 ± 1,03 <sup>d</sup>	2,27 ± 0,68 <sup>d</sup>
T5	3,77 ± 0,72 <sup>b</sup>	4,17 ± 0,52 <sup>ab</sup>	4,20 ± 0,65 <sup>a</sup>	4,03 ± 0,95 <sup>a</sup>
T6	3,80 ± 0,75 <sup>b</sup>	3,93 ± 0,73 <sup>bc</sup>	3,37 ± 0,75 <sup>b</sup>	3,03 ± 0,80 <sup>b</sup>
T7	3,20 ± 0,87 <sup>d</sup>	3,47 ± 0,88 <sup>de</sup>	2,90 ± 0,94 <sup>c</sup>	2,50 ± 0,56 <sup>cd</sup>
T8	3,80 ± 1,01 <sup>b</sup>	3,77 ± 0,76 <sup>cd</sup>	2,30 ± 0,90 <sup>d</sup>	2,53 ± 1,06 <sup>cd</sup>
Testigo	4,80 ± 0,40 <sup>a</sup>	4,43 ± 0,72 <sup>a</sup>	4,53 ± 0,62 <sup>a</sup>	4,33 ± 0,65 <sup>a</sup>
<b>Fr</b>	86,109 **	68,707 **	115,663 **	110,779 **

Fr: valor de prueba no paramétrica Friedman calculado; \*\*: altamente significativo ( $\chi^2$ ,  $p \leq 0.01$ ); Medias con distinta letra en una columna son estadísticamente diferentes ( $\chi^2$ ,  $p \leq 0.05$ )  
Valores promedio ± S.D. (n=30)

#### 4.2.4.1 Color

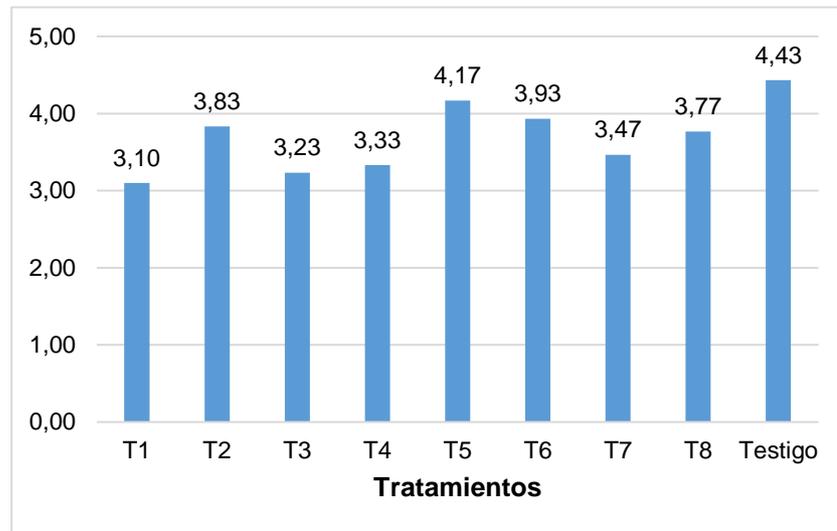


**Figura 40.** Puntuaciones de color de los snacks extruidos

El color es un factor de calidad importante que se encuentra directamente relacionado con la aceptabilidad de los productos alimenticios, siendo una propiedad física importante en la publicidad de los productos (Hutchings, Ronnier Luo, y Ji, 2013). El color de un producto debe estar en un nivel aceptable. En la

Figura 40, se observa que los tratamientos resultantes de los efectos de los factores, obtuvieron puntajes muy cercanos al testigo, lo cual demuestra que son aceptables ante el consumidor. Sin embargo, predominan los tratamientos T5, T6 y T8, con puntajes de 3,77 y 3,80.

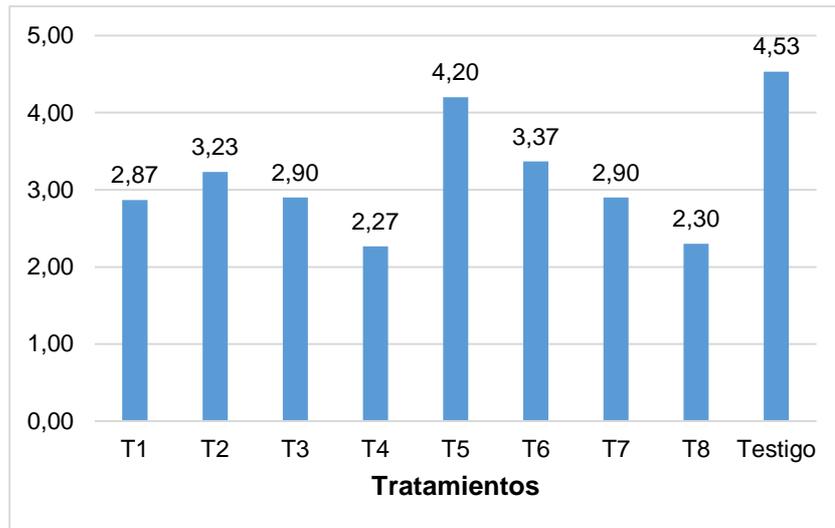
#### 4.2.4.2 Olor



**Figura 41.** Puntuaciones de olor de los snacks extruidos

En la Figura 41, se observa que los tratamientos T5, T6 y T2, tuvieron las puntuaciones más altas, con puntajes de 4,17; 3,93 y 3,83, respectivamente, valores muy cercanos al testigo. Esto indica que estos tratamientos, obtuvieron aromas aceptables ante el criterio del consumidor.

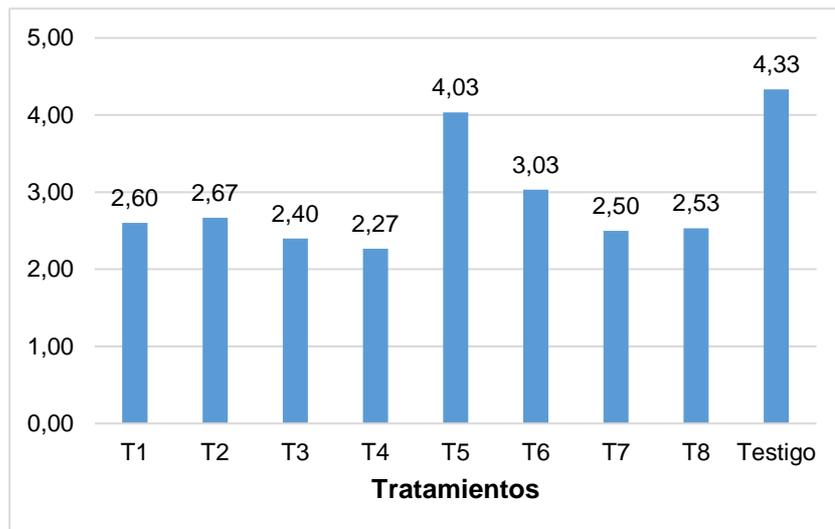
#### 4.2.4.3 Textura



**Figura 42.** Puntuaciones de la textura de los snacks extruidos

La textura en el snack es un indicativo muy importante para la aceptación ante el consumidor, básicamente en los snacks se lo relaciona con la dureza y la crujencia (Anton y Luciano, 2007). En la Figura 42, se observa que los puntajes más altos se encuentran en los tratamientos que resultaron con mayor expansión, estos resultados concuerdan mucho con los resultados obtenidos con los panelistas semi-entrenados.

#### 4.2.4.4 Sabor



**Figura 43.** Puntuaciones de sabor de los snacks extruidos

En la Figura 43, se observa que las calificaciones de sabor para los snacks extruidos, se relacionan muy bien con las anteriores propiedades organolépticas evaluadas. Conforme a los resultados, los tratamientos más aceptados por el panel no entrenado, son los tratamientos T6, T5 y T2, quienes registraron las calificaciones más altas.

#### 4.2.5 DIGESTIBILIDAD DE LA PROTEINA Y CONTENIDO DE AMINOÁCIDOS

De acuerdo a los resultados obtenidos de la evaluación de las propiedades fisicoquímicas, funcionales, perfil de textura y aceptabilidad sensorial, los mejores tratamientos escogidos fueron: T6 (80:10:10; 15% humedad de la mezcla y temperatura de extrusión de 140°C), T2 (70:15:15; 15% humedad de la mezcla y temperatura de extrusión de 140°C) y T5 (80:10:10; 15% humedad de la mezcla y temperatura de extrusión de 110°C). Estos tratamientos fueron escogidos para realizar el análisis de digestibilidad de la proteína.

**Tabla 40.** Análisis de la Digestibilidad de la Proteína de los snacks extruidos

Tratamientos	Digestibilidad de la Proteína (%)
T6	81,22
T2	86,29
T5	83,61
Testigo	83,58

Según Singh et al. (2007), el valor nutricional de las proteínas depende de su digestibilidad y la cantidad disponible de aminoácidos esenciales, donde el valor de digestibilidad de la proteína de los productos obtenidos por extrusión es mayor que los productos sin extrusión.

Cabe señalar que el requerimiento nutricional de proteínas diarias en niños de 1 a 17 años y adultos mayores de 18 años de edad es de 0,85-1,1 y 0,80 g proteína/kg peso corporal, respectivamente. La cual cubre la necesidad de nitrógeno en el

organismo, que es de 75 mg de nitrógeno por kg de peso corporal (Hernández, 2004).

La Tabla 40, muestra que el tratamiento T2 (70:15:15; 15% humedad de la mezcla y temperatura de extrusión de 140°C) presentó el mayor grado de digestibilidad de la proteína. Al respecto Singh et al. (2007), indica que el aumento de la temperatura de extrusión de 100°C a 140 ° C, se incrementa el grado de inactivación de los inhibidores de la proteasa en las harinas como consecuencia aumentan los valores de digestibilidad de la proteína.

La digestibilidad de la proteína es un indicativo de la desnaturalización de la proteína. Patil et al. (2016) informaron que al someter a los alimentos a alta presión y temperatura de extrusión, aumenta la digestibilidad de las proteínas. Este aumento podría estar relacionado con la degradación de los complejos proteicos dentro de las muestras extruidas y la desnaturalización de la proteína debido al calor y al cizallamiento. Como consecuencia, los productos extruidos son más susceptibles a la degradación, por lo tanto, aumenta la biodisponibilidad de proteína durante la digestión.

#### **4.2.6 PERFIL DE AMINOÁCIDOS DEL TRATAMIENTO 6**

El perfil de aminoácidos fue realizado al tratamiento T6 (80:10:10; 15% humedad de la mezcla y temperatura de extrusión de 140°C) escogido como el mejor tratamiento en este estudio, sus valores se muestran en la Tabla 41. Donde se observa un contenido de lisina bastante aceptable, no obstante, presenta un alto contenido de serina, aminoácido no esencial, el cual influye en la creación de anticuerpos y junto con el triptófano mantiene el estado de ánimo de las personas.

Como es sabido, la materia prima principal para la elaboración de snacks extruidos expandidos son los cereales, los cuales son deficientes en aminoácidos esenciales, en particular la lisina. Por tanto, la retención de lisina durante el procesamiento de alimentos es de suma importancia. Cabe señalar que la extrusión en caliente evita, en mayor medida, la pérdida de dicho aminoácido debido a su principio de funcionamiento que involucra altas temperaturas y tiempos cortos de procesamiento (HTST) (Singh et al., 2007).

**Tabla 41.** Perfil de aminoácidos del tratamiento T6

<b>Aminoácidos</b>	<b>g Aminoácidos /100g de muestra</b>
Ácido Aspártico	0,96
Ácido Glutámico	0,54
Serina	2,23
Histidina	0,45
Treonina	0,23
Glicina	0,15
Arginina	0,6
Alanina	0,59
Tirosina	0,29
Triptófano	0,00
Valina	0,47
Metionina	0,13
Fenil alanina	0,37
Isoleucina	0,47
Leucina	0,87
Lisina	0,51
<b>Aminoácidos Totales (%)</b>	<b>8,86</b>

Laboratorio Analítico Excelencia Química UBA

En efecto, la proteína de maíz es de baja calidad, debido a su deficiencia en aminoácidos esenciales como la lisina y el triptófano. Sin embargo, poseen cantidades considerables de aminoácidos azufrados (metionina y cisteína). En contraste, la proteína del chocho es rica en lisina y triptófano pero pobre en metionina. Por tanto, al combinar cereales con leguminosas se consigue un alimento con un mejor balance de aminoácidos, necesarios para el ser humano (Villacrés et al., 2003).

Además, Cuesta (2012) indica que la papa presenta un bajo contenido de proteína, no obstante su proteína es de alto valor biológico. Por tanto, se justifica su incorporación en la mezcla de maíz y chocho, ya que complementa el perfil de aminoácidos esenciales y consecuentemente mejora el valor biológico de la proteína.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 CONCLUSIONES**

Una vez realizado las respectivas discusiones de las variables evaluadas en el presente estudio, se obtuvo las siguientes conclusiones.

- El análisis físico-químico de las materias primas, determinó altos contenidos de proteína, lípidos y fibra en el chocho. Mientras, que en el maíz y la papa se registraron altos contenidos de almidón en proporciones similares de amilosa y amilopectina. Por lo tanto, a mayor nivel de sustitución del maíz por chocho, mayor es el incremento de proteína, lípidos y fibra. Sin embargo, disminuye el contenido de almidón en la formulación.
  
- En cuanto al análisis de la textura descriptiva de los snacks extruidos, se concluye que los factores de estudio influyen significativamente en las variaciones observadas entre los tratamientos, donde los productos elaborados con fórmulas de mezclas con menor contenido de chocho y humedad (15%) y mayor temperatura de extrusión (140°C), presentan menor dureza, mayor crujencia y menor resistencia a la ruptura, con valores similares al testigo. Por otro lado, al incrementar el contenido de chocho a la fórmula de mezcla, disminuye significativamente la adherencia del snack, lo cual permite una mayor aceptación del snack extruido en el consumidor.

- El análisis de correlación de Pearson y Componentes Principales entre los resultados de textura sensorial descriptiva y la textura instrumental, concluye que los atributos crujencia y resistencia a la ruptura se correlacionan de manera altamente significativa con la sonda de punción, mientras el atributo de dureza correlacionó significativamente con las pruebas de corte.
- Con el análisis de aceptabilidad se concluye que los extruidos con mayor contenido nutricional, obtenidos de mezclas con mayor contenido de chocho y papa en la fórmula alimenticia, presentaron un menor grado de aceptación. Existe preferencia por los extruidos que más se parecen al testigo, 100% maíz.
- Con base al contenido nutricional del snack extruido, se concluye que la fórmula de la mezcla fue el factor con mayor efecto sobre estas variables, donde a mayor sustitución de maíz (70%) por chocho (15%) en la fórmula, mayor es el contenido de proteína, lípidos, fibra y cenizas. Mientras, el contenido de carbohidratos es menor en los productos extruidos.
- A menor contenido de humedad de la mezcla y mayor temperatura de extrusión, mayor fue el contenido nutricional de los productos extruidos.
- La fórmula y humedad de la mezcla fueron los factores con mayor efecto sobre el índice de expansión y la densidad aparente, donde a menor sustitución de maíz (80%) por chocho (10%) y menor humedad de la mezcla (15%), resultó en mayor índice de expansión y menor densidad aparente de los snacks.
- La humedad y la fórmula de la mezcla fueron los factores con mayor efecto sobre el índice de absorción de agua, donde a menor contenido de humedad de la mezcla (15%) y mayor sustitución de maíz (70%) por chocho (15%), menor fue el índice de absorción de agua de los productos extruidos.

- En el índice de solubilidad en agua, los factores con mayor efecto sobre esta variable fueron la humedad de la mezcla y la temperatura de extrusión, donde a menor contenido de humedad en la mezcla (15%) y mayor temperatura de extrusión (140°C), mayor fue el índice de solubilidad en agua de los productos extruidos.
- El índice de absorción de agua y el índice de solubilidad en agua presentaron una relación inversamente proporcional entre ellos, debido a su relación directa con la degradación del almidón.
- Finalmente se concluye que las condiciones de proceso y la fórmula de la mezcla óptimas para la obtención de snacks extruidos corresponden al tratamiento T6, con 80% maíz, 10% chocho y 10% papa; 15% de humedad de la mezcla y una temperatura de extrusión de 140°C. Los factores decisivos para la elección fueron los análisis de funcionalidad, textura sensorial descriptiva e instrumental y de aceptabilidad.

## **5.2 RECOMENDACIONES**

- Para posteriores estudios, se recomienda evaluar el índice de digestibilidad del almidón a los productos extruidos expandidos elaborados a partir de maíz, chocho y papa, como parte de su funcionalidad, debido a su alto contenido de almidón, superior al 65%.
- La temperatura de extrusión no debe sobrepasar los 180 °C, ya que afectaría de manera negativa tanto en el contenido nutricional como en la funcionalidad y textura del snacks extruido expandido, debido al aumento del grado de dextrinización del almidón.
- Se recomienda aplicar técnicas de saborización, para evaluar la textura y el nivel de aceptabilidad de los snacks extruidos como producto final.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ai, Y., & Jane, J. (2018). Understanding Starch Structure and Functionality. In *Starch in Food* (pp. 151–178). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100868-3.00003-2>
- Alam, M. S., Kaur, J., Khaira, H., & Gupta, K. (2015). Extrusion and Extruded Products: Changes in Quality Attributes as Affected by Extrusion Process Parameters: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.779568>
- Allauca, V., & Villacres, E. (2005). *Desarrollo y Evaluación de la Tecnología de elaboración de chocho (lupinus mutabilis Sweet) germinado fresco*. Informe Técnico Anual - INIAP, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Departamento de Nutrición y Calidad, Quito.
- 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, A., & Maskan, M. (2012). *Advances in Food Extrusion Technology*. (D.-W. Sun, Ed.). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Álvarez, J. (2010). *Alimentos*. Obtenido de <https://alimentos.org.es/aminoacidos-patatas-nuevas>
- Anderson, R., Conway, H., Pheiser, V., & Griffin, E. (1969). Gelatinisation of corn grits by roll and extrusion cooking. *Cereal Science Today*, 4-12.
- Anton, A. A., & Luciano, F. B. (2007). Instrumental texture evaluation of extruded snack foods: A review. *Ciencia y Tecnología Alimentaria*. <https://doi.org/10.1080/11358120709487697>
- Beltrán, M., & Marcilla, A. (2012). *Tecnología de polímeros: Procesado y propiedades*.
- Berk, Z. (2018). Extrusion. In *Food Process Engineering and Technology* (pp. 373–394). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812018-7.00015-4>
- Bonilla, M. N. (2016). *La política agropecuaria ecuatoriana, II Parte*.
- Bordoloi, R., & Ganguly, S. (2014). Extrusion technique in food processing and a review on its various technological parameters, 2(1), 1–3. Retrieved from <http://www.indjst.com>
- Bouvier, J.-M., & Campanella, O. H. (2014). *Extrusion Processing Technology: Food and Non-Food Biomaterials*.
- Brennan, M. A., Lan, T., & Brennan, C. S. (2016). Synergistic Effects of Barley, Oat and Legume Material on Physicochemical and Glycemic Properties of Extruded Cereal Breakfast Products. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40(3), 405–413. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12617>
- Briones, J. (2011). Obtención de harinas de cereales y leguminosas precocidas y su aplicación en alimentos para el adulto mayor, 1–168.

- Charro, M. (2015). *Obtención de plástico biodegradable a partir de almidón de patata*. Tesis de Grado, Universidad Central del Ecuador, Quito. Obtenido de <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/3788/1/T-UCE-0017-97.pdf>
- Chirinos-Arias, M. C. (2015). Andean Lupin ( *Lupinus mutabilis* Sweet ) a plant with nutraceutical and medicinal potential. *Revista Bio Ciencias*, 51(1), 163–172. <https://doi.org/10.15741/revbio.03.03.03>
- Conti-Silva, A. C., Bastos, D. H. M., & Arêas, J. A. G. (2012). The effects of extrusion conditions and the addition of volatile compounds and flavour enhancers to corn grits on the retention of the volatile compounds and texture of the extrudates. *International Journal of Food Science and Technology*, 47(9), 1896–1902. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.03047.x>
- Contreras-Jiménez, B., Morales-Sánchez, E., Reyes-Vega, M. L., & Gaytán-Martínez, M. (2014). Propiedades funcionales de harinas de maíz nixtamalizado obtenidas por extrusión a baja temperatura. *CyTA - Journal of Food*, (December), 37–41. <https://doi.org/10.1080/19476337.2013.840804>
- Cuesta, X. (2012). Valor nutritivo de la papa. *Revista Informativa - INIAP*, 5.
- Ding, Q., 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, 73, 142–148. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.01.013>
- Ding, Q., Ainsworth, P., Tucker, G., & Marson, H. (2005). The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice-based expanded snacks, 66, 283–289. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2004.03.019>
- Egoavil. (2011). *Propiedades Nutricionales del chocho y el maíz*.
- Fellows, P. (2000). Extrusion. In *Food processing technology: principles and practice* (Second).
- Filli, K. B., Nkama, I., Jideani, V. A., & IBOK, I. U. (2012). System Parameters and Product Properties Responses During Extrusion of Fura from Millet-Soybean Mixtures. *Nigerian Food Journal*, 30(1), 82–100. [https://doi.org/10.1016/S0189-7241\(15\)30017-5](https://doi.org/10.1016/S0189-7241(15)30017-5)
- Freire, V. (2014). La nueva situación epidemiológica de Ecuador. *Revista Informativa - Ops/Oms Representacion Ecuador*, 32, 1–100.
- Ghumman, A., Kaur, A., Singh, N., & Singh, B. (2016). Effect of feed moisture and extrusion temperature on protein digestibility and extrusion behavior of lentil and horsegram. *LWT - Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.02.032>
- Grande, C. D., & Orozco, B. S. (2013). Producción y procesamiento del maíz en Colombia. *Revista Científica Guillermo de Ockham*, 11, 97–110. Retrieved from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=105327548008>
- Gulati, P., Weier, S. A., Santra, D., Subbiah, J., & Rose, D. J. (2016). Original article Effects of feed moisture and extruder screw speed and temperature on

- physical characteristics and antioxidant activity of extruded proso millet (*Panicum miliaceum*) flour, 114–122. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12974>
- Guy, R. (2001). *Extrusion cooking - Technologies and applications* (I). England.
- Hernández, M. (2004). Recomendaciones Nutricionales para el ser humano: Actualización. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 23(4), 266–292. Retrieved from [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-03002004000400011&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03002004000400011&lng=es&tlng=es)
- Hleap, J. I., & Velasco, Vi. A. (2010). Análisis de las Propiedades de Textura durante el Almacenamiento de Salchichas elaboradas a partir de Tilapia Roja (*Oreochromis* sp.). *Rev.Bio.Agro*, 8, 46–56.
- Hood-niefer, S. D., & Tyler, R. T. (2010). Effect of protein , moisture content and barrel temperature on the physicochemical characteristics of pea flour extrudates. *Food Research International*, 43(2), 659–663. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.033>
- Hutchings, J. B., Ronnier Luo, M., & Ji, W. (2013). Food appearance quality assessment and specification. In *Instrumental Assessment of Food Sensory Quality* (pp. 29–53). Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9780857098856.1.29>
- Ilo, S., Schoenlechner, R., & Berghofe, E. (2000). Role of lipids in the extrusion cooking processes. *Grasas y Aceites*, 51(1–2), 97–110. <https://doi.org/10.3989/gya.2000.v51.i1-2.410>
- INEC. (2010). *III Censo Nacional Agropecuario*. Quito.
- INEC. (2017). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC)*.
- INIAP. (2011). *Estudio de la comercialización y producción de productos andinos*
- Justo, O., & Pérez, W. (2006). Tecnología de extrusión en alimentos, 16(3), 78–87.
- Karwe, M. V. (2009). Food Extrusion. In G. V. Barbosa-Cánova (Ed.), *Food Extrusion* (Vol. III). EOLSS Publications.
- Kasprzak, M., Rzedzicki, Z., Wirkijowska, A., Zarzycki, P., Sobota, A., Sykut-Domańska, E., & Błaszczak, W. (2013). Effect of fibre-protein additions and process parameters on microstructure of corn extrudates. *Journal of Cereal Science*, 58(3), 488–494. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2013.09.002>
- Kilcast, D. (2013). Measurement of the sensory quality of food : an introduction. In *Instrumental Assessment of Food Sensory Quality* (pp. 1–26). Woodhead Publishing Limited. <https://doi.org/10.1533/9780857098856.1>
- Korkerd, S., Wanlapa, S., Puttanlek, C., & Uttapap, D. (2016). Expansion and functional properties of extruded snacks enriched with nutrition sources from food processing by-products. *Journal of Food Science and Technology*, 53, 561–570. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-2039-1>
- Lazou, A., & Krokida, M. (2010). Structural and textural characterization of corn –

- lentil extruded snacks. *Journal of Food Engineering*, 100(3), 392–408. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.04.024>
- Leighton, C. . S., Schonfeldt, H. C., & Kruger, R. (2010). Different cultivars of sweet potato to determine sensory and textural profiles, 25, 2–18. <https://doi.org/10.1111/j.1745-459X.2008.00188.x>
- Lević, J., & Sredanović, S. (2010). Heat treatments in animal feed processing. In *Extrusion technology in feed and food processing* (p. 201).
- Lo, T. . E., Moreira, R. G., & Castell-Perez, M. E. (1998). Effect of operating conditions on melt rheological characteristics during twin-screw food extrusion. *Transactions of the ASAE*, 41(1), 1721–1728. <https://doi.org/doi:10.13031/2013.17315>
- Lu, R. (2013). Principles of solid food texture analysis. In *Instrumental Assessment of Food Sensory Quality* (pp. 103–128). <https://doi.org/10.1533/9780857098856.1.103>
- Lupano, C. E. (2013). *Modificaciones de componentes de los alimentos: cambios químicos y bioquímicos por procesamiento y almacenamiento* (1st ed.). Buenos Aires (Argentina): Universidad Nacional de la Plata.
- MAGAP. (2014). Ecuador se proyecta a ser exportador de papa. Obtenido de <https://www.agricultura.gob.ec/ecuador-se-proyecta-a-ser-exportador-de-papa/>
- Majumdar, R. K., & Singh, R. K. R. (2012). The effect of extrusion conditions on the physicochemical properties and sensory characteristics of fish-based expanded snacks. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38, 864–879. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12041>
- Mastrocola, N., Pino, G., Mera, X., Rojano, P., Haro, F., Rivadeneira, J., ... Cuesta, X. (2016). Catálogo de Variedades de papa del Ecuador. *FAO-INIAP*, 21.
- Mian, N., & Galen, J. (2012). *Extrusion problems solved: Food, pet food and feed*.
- Moscicki, L. (2011). *Extrusion-Cooking Techniques*. Weinheim, Germany.
- Nascimento, E., Carvalho, C., Takeiti, C., Freitas, D., & Ascheri, J. (2012). Use of sesame oil cake ( *Sesamum indicum* L . ) on corn expanded extrudates. *Food Research International*, 45(1), 434–443. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.11.009>
- Navale, S. A., Swami, S. B., & Thakor, N. J. (2015). Extrusion Cooking Technology for Foods : A Review. *Journal of Ready to Eat Food*, 2(3), 66–80.
- Neder-suárez, D., Amaya-guerra, C., Quintero-ramos, A., Pérez-carrillo, E., Alanís-guzmán, M., Báez-gonzález, J., ... Jiménez-Castro, J. (2016). Physicochemical Changes and Resistant-Starch Content of Extruded Cornstarch with and without Storage at Refrigerator Temperatures. *Molecules*, 1–20. <https://doi.org/10.3390/molecules21081064>
- Obradovi, V., Babi, J., & Jozinovi, A. (2014). Improvement of nutritional and

- functional properties of extruded food products, *53*(3), 189–206.
- Oke, M. O., Awonorin, S. O., Sanni, L. O., Asiedu, R., & Aiyedun, P. O. (2012). Effect of extrusion variables on extrudates properties of water yam flour - A response surface analysis. *Journal of Food Processing and Preservation*. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2011.00661.x>
- Olivas-Gastélum, R., Nevárez-Moorillón, G., & Gastélum-Franco, M. (2009). Las pruebas de diferencia en el análisis sensorial de los alimentos. *TECNOCENCIA Chihuahua*, *III*(1), 1–7.
- Patil, S., Anne, M., Sue, B., Charles, M., & Brennan, S. (2017). Investigation of the combination of legumes and cereals in the development of extrudate snacks and its effect on physico-chemical properties and in vitro starch digestion. *Journal of Food and Nutrition Research*, *56*(1), 32–41.
- Patil, S., Brennan, M., Mason, S., & Brennan, C. (2016). The Effects of Fortification of Legumes and Extrusion on the Protein Digestibility of Wheat Based Snack. *Foods*, *5*(2), 26. <https://doi.org/10.3390/foods5020026>
- 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*, 9–14. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.08.007>
- Pérez, K., Peñafiel, C., & Delgado, V. (2017). Bocado con alto contenido proteico : un extruido a partir de quinua ( *Chenopodium quinoa* Willd .), tarwi ( *Lupinus mutabilis* Sweet ) y camote ( *Ipomoea batatas* L .). *Scientia Agropecuaria*, *8*(4), 377–388. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2017.04.09>
- Philipp, C., Buckow, R., Silcock, P., & Oey, I. (2017). Instrumental and sensory properties of pea protein-fortified extruded rice snacks. *Food Research International*, (May), 0–1. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.048>
- Pismag, Y., Cerón, C., Guerra, L., Legarda, J., & Enríquez, M. (2016). Effect of extrusion on the physicochemical characteristics of quinoa flour (*Chenopodium quinoa* Willd), *14*(2), 92–99. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)92-99](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)92-99)
- Prada, R. (2012). Alternativa de aprovechamiento eficiente de residuos biodegradables: El caso del almidón residual derivado de la industrialización de la papa. *Revista EAN*, *72*, 180–192. Retrieved from [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-81602012000100012&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-81602012000100012&lng=en&tlng=es)
- Ramachandra, H. G., & Thejaswini, M. L. (2015). Extrusion Technology : A Novel Method of Food Processing. *IJISSET - International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology*, *2*(4), 358–369.
- Ramos, J. M., Suuronen, J. P., Deegan, K. C., Serimaa, R., Tuorila, H., & Jouppila, K. (2015). Physical and sensory characteristics of corn-based extruded snacks containing amaranth, quinoa and kañiwa flour. *LWT - Food Science and*

- Technology*, 64(2), 1047–1056. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.07.011>
- Rehal, J., Kaur, G. J., Kaur, A., & Singh, A. (2017). Comparative Evaluation of Different Attributes of the Existing Extruded Snacks. *Journal of Krishi Vigyan*, 5(2), 15. <https://doi.org/10.5958/2349-4433.2017.00004.6>
- Sánchez, I. (2014). Maíz I ( *Zea mays* ). *Reduca (Biología)*, 7(2), 151–171. Retrieved from <http://eprints.sim.ucm.es/27974/1/MAIZ I.pdf>
- Sandrin, R., Caon, T., Zibetti, A. W., & de Francisco, A. (2018). Effect of extrusion temperature and screw speed on properties of oat and rice flour extrudates. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8855>
- Sarifudin, A., & Assiry, A. M. (2014). Some physicochemical properties of dextrin produced by extrusion process. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2013.02.001>
- Semeijn, C., & Buwalda, P. L. (2018). Potato Starch. In *Starch in Food* (pp. 353–372). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100868-3.00009-3>
- Seth, D., Badwaik, L. S., & Ganapathy, V. (2015). Effect of feed composition, moisture content and extrusion temperature on extrudate characteristics of yam-corn-rice based snack food. *Journal of Food Science and Technology*, 52(3), 1830–1838. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1181-x>
- Shirani, G., & Ganesharane, R. (2009). Extruded products with Fenugreek (*Trigonella foenum-graecium*) chickpea and rice: Physical properties, sensory acceptability and glycaemic index. *Journal of Food Engineering*, 90(1), 44–52. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2008.06.004>
- Singh, R. K. R., & Majumdar, R. K. (2012). Optimum extrusion-cooking conditions for improving physical properties of fish-cereal based snacks by response surface methodology. *Journal of Food Science and Technology*, (2004). <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0725-9>
- Singh, R. P., & Heldman, D. R. (2014). Extrusion Processes for Foods. In *Introduction to Food Engineering* (pp. 743–766). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-398530-9.00014-0>
- Singh, S., Gamlath, S., & Wakeling, L. (2007). Nutritional aspects of food extrusion: A review. *International Journal of Food Science and Technology*, 42(8), 916–929. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01309.x>
- Sobukola, O. P., Babajide, J. M., & Ogunsade, O. (2013). Effect of brewers spent grain addition and extrusion parameters on some properties of extruded yam starch-based pasta. *Journal of Food Processing and Preservation*, 37(5), 734–743. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2012.00711.x>
- Steel, C. J., Gabriela, M., Leoro, V., Schmiele, M., Ferreira, R. E., & Chang, Y. K. (2012). Thermoplastic Extrusion in Food Processing. In A. El-Sonbati (Ed.), *Thermoplastic Elastomers*. Retrieved from <http://www.intechopen.com/books/thermoplastic-elastomers/thermoplastic-extrusion-in-food-processing>

- Szczesniak, A. S. (2002). Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*, 13, 215–225. [https://doi.org/doi.org/10.1016/S0950-3293\(01\)00039-8](https://doi.org/doi.org/10.1016/S0950-3293(01)00039-8)
- Taggart, P. (2004). Starch as an ingredient : Manufacture and applications. *Starch in Food*, 363–392. <https://doi.org/10.1533/9781855739093.3.363>
- Túpac, L. M. V., Pérez, A. G., & Zelada, C. R. E. (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. Retrieved from [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2012000200007&lng=es&nrm=iso%3E](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2012000200007&lng=es&nrm=iso%3E). ISSN 1810-634X.
- Valdivieso, M. B. S. (2010). Producción organica de cultivos andinos, 126.
- Valenzuela-Lagarda, J., Gutierrez-Dorado, R., Pachecho-Aguilar, R., Lugo-Sanchez, M. E., Valdez-torres, J. B., Reyes-Moreno, C., ... Muy-Rangel, M. (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., Salvador, A., & Fiszman, S. (2009). On the assessment of fracture in brittle foods II . Biting or chewing ? *Food Research International*, 42(10), 1468–1474. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.08.004>
- Vargas, G., Martínez, P., & Velezmoro, C. (2016). Propiedades funcionales de almidón de papa ( *Solanum tuberosum* ) y su modificación química por acetilación. *Scientia Agropecuaria*, 7(3), 223–230. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.03.09>
- Villacrés, E., Peralta, E., & Álvarez, M. (2003). Recetario Chocho en su punto. *Programa Nacional de Leguminosas y Granos Andinos- INIAP*, 43.
- Villacrés, E., & Quilca, N. (2009). *Caracterización química y funcional de papas nativas para orientar sus usos futuros en Ecuador*. Quito.
- Villacrés, E., Rubio, A., Egas, L., & Gabriela, S. (2006). *Usos Alternativos del Chocho. INIAP-Estación Experimental Santa Catalina*.
- Wang, Y., & Ryu, G. (2013). Physical properties of extruded corn grits with corn fibre by CO 2 injection extrusion. *Journal of Food Engineering*, 116(1), 14–20. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.10.041>
- Wrigley, C., Corke, H., Seetharaman, K., & Faubion, J. (2016). *Encyclopedia of Food Grains* (Second). Academic Press.
- Zazueta-Morales, J., Jacobo-Valenzuela, N., Aguilar-Palazuelos, E., Limón-Valenzuela, V., & Camacho-Hernández, I. (2011). Extrusión Cocción en el Procesamiento de Maíz : Cambios Físicos , Químicos y Calidad de Productos. *Memorias Del Simposium Internacional Sobre Tecnologías Convencionales y Alternativas En El Procesamiento de Maíz Chihuahua, Chihuahua. México. 3-5 de Agosto de 2011*, 26–33.

# ANEXOS

## ANEXO 1. Pruebas DMS para la variable Humedad

Prueba de Diferencia Mínima Significativa para el factor A

<b>Factor</b>	<b>Medias</b>	<b>Rango</b>
<b>A1</b>	7,01	<b>a</b>
<b>A2</b>	7,26	<b>b</b>

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

Prueba de Diferencia Mínima Significativa para el factor B

<b>Factor</b>	<b>Medias</b>	<b>Rango</b>
<b>B1</b>	5,84	<b>a</b>
<b>B2</b>	8,44	<b>b</b>

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

Prueba de Diferencia Mínima Significativa para el factor C

<b>Factor</b>	<b>Medias</b>	<b>Rango</b>
<b>C2</b>	6,86	<b>a</b>
<b>C1</b>	7,42	<b>b</b>

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

## ANEXO 2. Pruebas DMS para la variable Proteína

Prueba de Diferencia Mínima Significativa para el factor A

<b>Factor</b>	<b>Medias</b>	<b>Rango</b>
<b>A1</b>	16,29	<b>a</b>
<b>A2</b>	13,67	<b>b</b>

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

Prueba de Diferencia Mínima Significativa para el factor B

<b>Factor</b>	<b>Medias</b>	<b>Rango</b>
<b>B1</b>	15,35	<b>a</b>
<b>B2</b>	14,61	<b>b</b>

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

### ANEXO 3. Pruebas DMS para la variable Lípidos

Prueba de Diferencia Mínima Significativa para el factor A

<b>Factor</b>	<b>Medias</b>	<b>Rango</b>
<b>A2</b>	0,83	<b>a</b>
<b>A1</b>	1,66	<b>b</b>

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

Prueba de Diferencia Mínima Significativa para el factor B

<b>Factor</b>	<b>Medias</b>	<b>Rango</b>
<b>B2</b>	1,02	<b>a</b>
<b>B1</b>	1,47	<b>b</b>

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

Prueba de Diferencia Mínima Significativa para el factor C

<b>Factor</b>	<b>Medias</b>	<b>Rango</b>
<b>C1</b>	1,21	<b>a</b>
<b>C2</b>	1,29	<b>b</b>

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

### ANEXO 4. Pruebas DMS para la variable Cenizas

Prueba de Diferencia Mínima Significativa para el factor A

<b>Factor</b>	<b>Medias</b>	<b>Rango</b>
<b>A1</b>	0,96	<b>a</b>
<b>A2</b>	0,85	<b>b</b>

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

Prueba de Diferencia Mínima Significativa para el factor C

<b>Factor</b>	<b>Medias</b>	<b>Rango</b>
<b>C2</b>	0,92	<b>a</b>
<b>C1</b>	0,89	<b>b</b>

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

## ANEXO 5. Pruebas DMS para la variable Carbohidratos

Prueba de Diferencia Mínima Significativa para el factor A

<b>Factor</b>	<b>Medias</b>	<b>Rango</b>
<b>A1</b>	74,07	<b>a</b>
<b>A2</b>	77,39	<b>b</b>

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

Prueba de Diferencia Mínima Significativa para el factor B

<b>Factor</b>	<b>Medias</b>	<b>Rango</b>
<b>B2</b>	75,02	<b>a</b>
<b>B1</b>	76,43	<b>b</b>

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

Prueba de Diferencia Mínima Significativa para el factor C

<b>Factor</b>	<b>Medias</b>	<b>Rango</b>
<b>C1</b>	75,49	<b>a</b>
<b>C2</b>	75,97	<b>b</b>

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

## ANEXO 6. Pruebas DMS para la variable Índice de Absorción de Agua

Prueba de Diferencia Mínima Significativa para el factor A

<b>Factor</b>	<b>Medias</b>	<b>Rango</b>
<b>A1</b>	4,59	<b>a</b>
<b>A2</b>	5,03	<b>b</b>

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

Prueba de Diferencia Mínima Significativa para el factor B

<b>Factor</b>	<b>Medias</b>	<b>Rango</b>
<b>B1</b>	4,43	<b>a</b>
<b>B2</b>	5,19	<b>b</b>

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

## ANEXO 7. Pruebas DMS para la variable Índice de Solubilidad en Agua

Prueba de Diferencia Mínima Significativa para el factor B

<b>Factor</b>	<b>Medias</b>	<b>Rango</b>
<b>B1</b>	0,41	<b>a</b>
<b>B2</b>	0,29	<b>b</b>

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

Prueba de Diferencia Mínima Significativa para el factor C

<b>Factor</b>	<b>Medias</b>	<b>Rango</b>
<b>C2</b>	0,37	<b>a</b>
<b>C1</b>	0,33	<b>b</b>

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

## ANEXO 8. Pruebas DMS para la variable Índice de Expansión

Prueba de Diferencia Mínima Significativa para el factor A

<b>Factor</b>	<b>Medias</b>	<b>Rango</b>
<b>A2</b>	4,64	<b>a</b>
<b>A1</b>	4,16	<b>b</b>

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

Prueba de Diferencia Mínima Significativa para el factor B

<b>Factor</b>	<b>Medias</b>	<b>Rango</b>
<b>B1</b>	4,60	<b>a</b>
<b>B2</b>	4,20	<b>b</b>

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

Prueba de Diferencia Mínima Significativa para el factor C

<b>Factor</b>	<b>Medias</b>	<b>Rango</b>
<b>C2</b>	4,44	<b>a</b>
<b>C1</b>	4,36	<b>b</b>

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

## ANEXO 9. Pruebas DMS para la variable Densidad Aparente

Prueba de Diferencia Mínima Significativa para el factor A

<b>Factor</b>	<b>Medias</b>	<b>Rango</b>
<b>A2</b>	0,31	<b>a</b>
<b>A1</b>	0,36	<b>b</b>

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

Prueba de Diferencia Mínima Significativa para el factor B

<b>Factor</b>	<b>Medias</b>	<b>Rango</b>
<b>B1</b>	0,30	<b>a</b>
<b>B2</b>	0,37	<b>b</b>

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

Prueba de Diferencia Mínima Significativa para el factor C

<b>Factor</b>	<b>Medias</b>	<b>Rango</b>
<b>C2</b>	0,35	<b>a</b>
<b>C1</b>	0,32	<b>b</b>

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

**ANEXO 10.** Plantilla para evaluar la Textura Descriptiva con Panelistas Semi-Entrenados



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

**CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL**

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

**EVALUACION DE TEXTURA DESCRIPTIVA DE SNACKS ELABORADOS  
CON CEREALES, LEGUMINOSAS Y TUBERCULOS.**

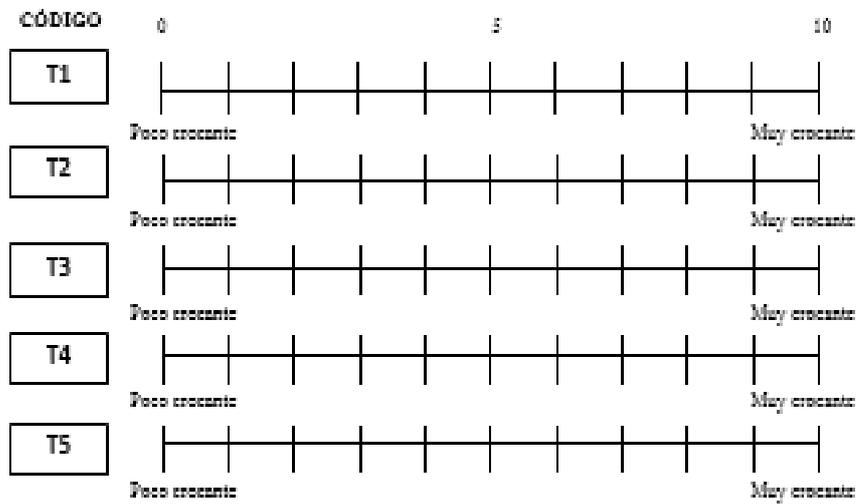
Instrucciones: Frente a usted se encuentra una muestra de snacks, de acuerdo a los atributos a evaluar, deguste y señale según su criterio con una línea vertical en las siguientes escalas.

**ATRIBUTOS**

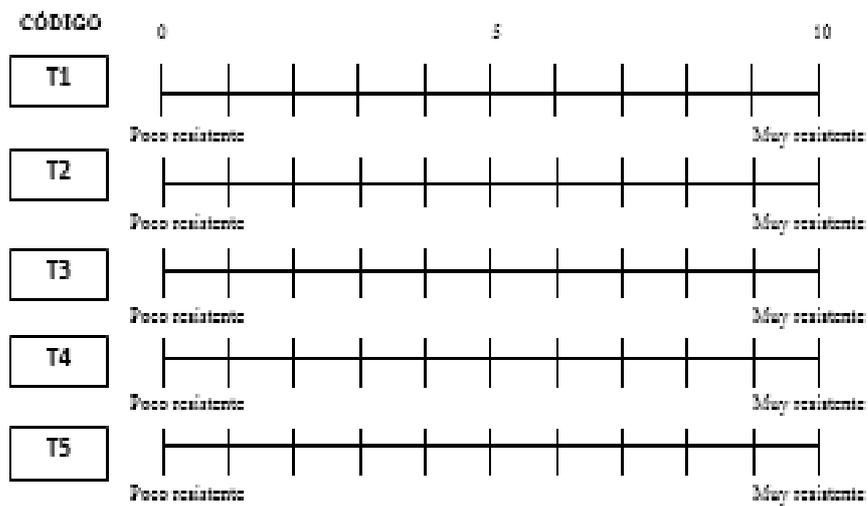
**DUREZA**

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

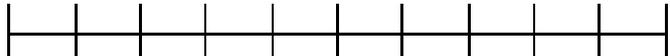
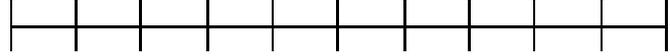
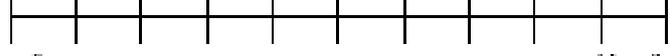
### CROCANCIA



### RESISTENCIA A LA RUPTURA



### ADHERENCIA

CÓDIGO	0	5	10
T1			
	Poco adherente		Muy adherente
T2			
	Poco adherente		Muy adherente
T3			
	Poco adherente		Muy adherente
T4			
	Poco adherente		Muy adherente
T5			
	Poco adherente		Muy adherente

#### Observaciones:

.....

.....

.....

.....

.....

.....

GRACIAS

**ANEXO 11.** Plantilla para evaluar la Aceptabilidad Sensorial de los Snacks Extruidos

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

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

EVALUACIÓN ORGANOLÉPTICA DE LA ELABORACIÓN DE UN  
 SNACKS ELABORADO A PARTIR DE LA MEZCLA DE GRITS DE MAÍZ  
*Zea mays*, CHOCHO *Lupinus mutabilis Sweet* Y PAPA *Solanum tuberosum*

**Instrucciones:** Califique según su criterio a cada una de las muestras y marque una (x) en el casillero que considere adecuada la respuesta.

CARACTERÍSTICAS		TRATAMIENTOS			
		T1	T2	T3	Testigo
Color	Excelente				
	Bueno				
	Regular				
	Malo				
Olor	Intenso				
	Fuerte				
	Característico				
	Poco perceptible				
	Nada perceptible				
Textura	Agrada mucho				
	Agrada poco				
	Ni agrada ni desagrada				
	Desagrada poco				
	Desagrada mucho				
Sabor	Excelente				
	Bueno				
	Regular				
	Malo				

Observaciones:

---



---



---

## ANEXO 12. Norma INEN 2051: 1995 Granos y Cereales

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

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

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

**TABLA 1. Requisitos del maíz entero molido**

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

4.1.4 No se aceptará maíz molido infestado.

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

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

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

4.1.8 El porcentaje máximo de impurezas será el 1%.

4.2 Sémola, harina, griz. Requisitos específicos.

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

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

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

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

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

(Continúa)

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

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

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

**TABLA 3. Requisitos microbiológicos**

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

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

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

(Continúa)

### ANEXO 13. Análisis físico-químico de las materias primas (grits)



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

<b>NOMBRE PETICIONARIO:</b> Sr. Richard Taimal
<b>DIRECCIÓN:</b> El Sagrario - Ibarra
<b>FECHA DE EMISIÓN:</b> 13-07-2018
<b>ANÁLISIS SOLICITADO:</b> Análisis proximales de materias primas

Parámetro Analizado	Unidad	Resultados			Método de ensayo
		Grits de Maíz	Grits de Chocho	Grits de Papa	
Humedad	%	12,42	9,16	7,79	AOAC 930.15
Cenizas	%	0,63	3,06	1,73	AOAC 923.03
Proteína	%	9,42	41,20	5,31	AOAC 955.39
Extracto etéreo	%	2,09	16,34	0,59	AOAC 920.85
Fibra bruta	%	0,89	10,46	1,56	AOAC 978.10
Carbohidratos	%	75,44	30,24	84,58	Cálculo
Almidón	%	72,68	13,30	74,26	Polarimetría
Amilosa	%	21,04	27,77	18,40	Marrison y Laignele
Amilopectina	%	78,96	72,23	81,60	Cálculo

  
**Ing. Elena Villacrés**  
**RESPONSABLE TÉCNICO**

## ANEXO 14. Análisis físico-químico de las mezclas



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

<b>NOMBRE PETICIONARIO:</b> Sr. Richard Taimal
<b>DIRECCIÓN:</b> El Sagrario - Ibarra
<b>FECHA DE EMISIÓN:</b> 13-07-2018
<b>ANÁLISIS SOLICITADO:</b> Análisis proximales de mezclas

Parámetro Analizado	Unidad	Resultados		Método de ensayo
		Mezcla 1	Mezcla 2	
		70%Maíz 15%Chocho 15%Papa	80%Maíz 10%Chocho 10%Papa	
Humedad	%	11,24	11,63	AOAC 930.15
Cenizas	%	1,16	0,98	AOAC 923.03
Proteína	%	13,57	12,18	AOAC 955.39
Extracto etéreo	%	4,00	3,36	AOAC 920.85
Fibra bruta	%	2,42	1,91	AOAC 978.10
Carbohidratos	%	70,03	71,85	Cálculo

  
 Ing. Elena Villacres  
 RESPONSABLE TÉCNICO



## ANEXO 15. Análisis funcionales de los tratamientos



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

NOMBRE PETICIONARIO: Sr. Richard Taimal		DIRECCIÓN: El Sagarrio - Ibarra		FECHA DE EMISIÓN: 13-07-2018		ANÁLISIS SOLICITADO: Propiedades funcionales del producto extruido	
Tratamientos	Descripción	Und.	Índice de Expansión	Densidad aparente	Resultados		
					Índice de absorción de agua	Índice de solubilidad de agua	
T1	70% maíz+15% chocho+15% papa; 15% humedad; 110°C	%	4,09	0,33	4,16	0,39	
T2	70% maíz+15% chocho+15% papa; 15% humedad; 140°C	%	4,58	0,31	4,34	0,42	
T3	70% maíz+15% chocho+15% papa; 20% humedad; 110°C	%	3,86	0,46	4,87	0,27	
T4	70% maíz+15% chocho+15% papa; 20% humedad; 140°C	%	4,09	0,36	5,00	0,32	
T5	80% maíz+10% chocho+10% papa; 15% humedad; 110°C	%	4,79	0,29	4,88	0,37	
T6	80% maíz+10% chocho+10% papa; 15% humedad; 140°C	%	4,95	0,28	4,34	0,47	
T7	80% maíz+10% chocho+10% papa; 20% humedad; 110°C	%	4,31	0,33	5,30	0,30	
T8	80% maíz+10% chocho+10% papa; 20% humedad; 140°C	%	4,53	0,32	5,61	0,29	
Testigo	100% maíz	%	0,27	5,51	0,27	0,29	

ESTACION EXPERIMENTAL SANTA CATALINA  
Ing. Egena Villacres  
RESPONSABLE TÉCNICO

## ANEXO 16. Análisis de composición nutricional de los tratamientos



### UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

FICAYA

Laboratorio de Análisis Físicos, Químicos y Microbiológicos

Informe N°:	138 - 2019
Análisis solicitado por:	Sr. Richard Taimal
Empresa:	Particular
Muestreado:	Propietario
Fecha de recepción:	05 de febrero de 2018
Fecha de entrega Informe:	12 de noviembre de 2019
Ciudad:	Ibarra
Provincia:	Imbabura
Muestra:	Sanck de maíz, chcho y papa
No. de Lote	No aplica
No. Unidades Analizadas	27

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado									Metodo de ensayo
		TESTIGO 1	TESTIGO 2	TESTIGO 3	T1R1	T1R2	T1R3	T2R1	T2R2	T2R3	
Humedad	%	5,08	5,13	5,19	6,06	6,06	6,06	5,13	5,21	5,06	AOAC 925.10
Cenizas	%	0,58	0,57	0,57	1,00	0,98	1,01	0,95	0,96	0,94	AOAC 923.03
Extracto etéreo	%	0,52	0,54	0,56	2,01	2,08	1,94	1,89	1,90	1,87	AOAC 920.85
Proteína Total	%	8,53	8,32	8,11	18,69	18,60	18,79	15,17	15,19	15,16	AOAC 920.87
Fibra Total	%	0,63	0,64	0,64	2,28	2,25	2,31	2,20	2,23	2,18	AOAC 978.10
Carbohidratos Totales	%	85,16	85,46	85,69	72,24	72,25	72,23	76,85	76,94	76,78	Cálculo

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado									Metodo de ensayo
		T3R1	T3R2	T3R3	T4R1	T4R2	T4R3	T5R1	T5R2	T5R3	
Humedad	%	8,56	8,59	8,63	8,27	8,27	8,27	6,47	6,42	6,37	AOAC 925.10
Cenizas	%	0,84	0,87	0,90	1,00	1,02	0,98	0,87	0,83	0,78	AOAC 923.03
Extracto etéreo	%	1,12	1,13	1,18	1,62	1,68	1,61	1,12	1,08	1,07	AOAC 920.85
Proteína Total	%	14,34	14,61	14,88	16,70	16,69	16,71	14,38	14,26	14,14	AOAC 920.87
Fibra Total	%	2,35	2,33	2,28	2,26	2,29	2,24	1,75	1,73	1,68	AOAC 978.10
Carbohidratos Totales	%	74,56	74,79	75,03	72,40	72,41	72,40	77,41	77,41	77,42	Cálculo

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado									Metodo de ensayo
		T6R1	T6R2	T6R3	T7R1	T7R2	T7R3	T8R1	T8R2	T8R3	
Humedad	%	5,81	5,68	5,74	8,56	8,62	8,59	8,14	8,43	8,29	AOAC 925.10
Cenizas	%	0,80	0,84	0,82	0,89	0,82	0,85	0,92	0,91	0,91	AOAC 923.03
Extracto etéreo	%	0,90	0,93	0,92	0,61	0,54	0,67	0,76	0,71	0,74	AOAC 920.85
Proteína Total	%	13,40	13,18	13,29	12,38	12,49	12,43	14,64	14,71	14,68	AOAC 920.87
Fibra Total	%	1,71	1,68	1,70	1,78	1,82	1,81	1,79	1,76	1,75	AOAC 978.10
Carbohidratos Totales	%	79,44	79,02	79,23	77,53	77,50	77,51	75,24	75,53	75,39	Cálculo

Los resultados obtenidos pertenecen exclusivamente para las muestras analizadas

Atentamente:

Bidg. José Luis Moreno  
Técnico de Laboratorio

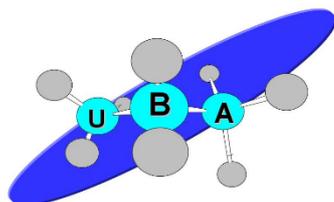


#### Visión Institucional

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

Av. 17 de Julio S-21 y José María  
Córdova. Barrio El Olivo.  
Teléfono: (06)2987800  
Fax: Ext: 7711.  
Email: utn@utn.edu.ec  
www.utn.edu.ec  
Ibarra - Ecuador

# ANEXO 17. Análisis del perfil de aminoácidos del mejor tratamiento



**Analytical  
Laboratories**  
Testing & Consulting

WWW.UBA-LAB.COM

## INFORME DE RESULTADOS IDR 20321-2018

Fecha: 07 de Mayo del 2018

DATOS DEL CLIENTE						
Nombre	TAIMAL QUELAL RICHARD MAURICIO					
Dirección	Ibarra: Av. Victor Manuel Guzmán 2-23					
Teléfono	0986655897					
Contacto	Sr. Richard Taimal					
DATOS DE LA MUESTRA						
Tipo de muestra	Snacks	Cantidad	Aprox. 400 g			
No. de muestras	1 (n=1)	Lote	N/A			
Presentación	Funda plástica	Fecha de recepción	19 de Abril del 2018			
Colecta de muestra	Realizado por el Cliente	Fecha de colecta de muestra	N.A.			
CONDICIONES DEL ANALISIS						
Temperatura (°C)	21.7	Humedad (%)	54.0			
Fecha de Inicio de Análisis	26 de Abril del 2018					
Fecha de Finalización del análisis	26 de Abril del 2018					
RESULTADOS						
PERFIL DE AMINOACIDOS						
CODIGO CLIENTE	CODIGO UBA	PARAMETROS	METODO	RESULTADOS	Unidad	Limite Detección (ppb)
Snacks Tratamiento # 6	UBA-20321-1	Acido Apartico	Burbach. Rudolph Institute Pre- Derivatización HPLC-FLD	0.96	gAA/100mL muestra Base Húmeda p/p	50
		Ácido Glutámico		0.54		
		Serina		2.23		
		Histidina		0.45		
		Treonina		0.23		
		Glicina		0.15		
		Arginina		0.60		
		Alanine		0.59		
		Tirosina		0.29		
		Triptofano		0.00		
		Valina		0.47		
		Metionina		0.13		
		Fenil alanina		0.37		
		Isoleucina		0.47		
		Leucina		0.87		
Lisina	0.51					
		Aminoácidos Totales (%)	8.86			
Observaciones:						
1. Los resultados emitidos en este informe. corresponden únicamente a la(s) muestra(s) recibidas por el laboratorio. No siendo extensivo a cualquier lote.						
2. Este reporte no debe ser reproducido parcial o totalmente. excepto con la aprobación escrita por parte del laboratorio.						
3. Nomenclatura: N.E. = No Estimado; N.A. = No aplica; AA = Aminoácidos. N.D.= No detectable.						

FOR ADM. 04 R01



Página 1 de 1

### CONTROL DE CALIDAD

ALIMENTOS

FARMACEUTICOS

AMBIENTALES

COSMETICOS

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