



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 DE
LA MEZCLA DE MAÍZ *Zea mays*, FRÉJOL *Phaseolus
vulgaris* Y CAMOTE *Ipomoea batata* EN EL SNACK

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERA
AGROINDUSTRIAL

Autora: Saskia Poleth Carvajal Basantes

Director: Ing. Luis Manosalvas, MSc.

Ibarra – Ecuador

2018



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 DE LA MEZCLA DE
MAÍZ *Zea mays*, FRÉJOL *Phaseolus vulgaris* Y CAMOTE *Ipomoea
batata* 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. Marco Lara, MSc.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

FIRMA

Ing. Ángel Satama, MSc.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

FIRMA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS

AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

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

1.- IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA:

La Universidad Técnica del Norte dentro del proyecto Repositorio Digital Institucional, determinó la necesidad de disponer de textos completos en formato digital con la finalidad de apoyar los procesos de investigación, docencia y extensión de la Universidad. Por medio del presente documento dejo sentada mi voluntad de participar en este proyecto, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO

CÉDULA DE IDENTIDAD:	172451997-8
APELLIDOS Y NOMBRES:	Carvajal Basantes Saskia Poleth
DIRECCIÓN	Pichincha-Cayambe -Ascázubi N6-53 e Imbabura
E-MAIL	saskiacarvajal_@hotmail.com
TELÉFONO MÓVIL	0987962627

DATOS DE LA OBRA

TÍTULO	EFFECTO DE LOS PARÁMETROS DE EXTRUSIÓN SOBRE LA CALIDAD NUTRICIONAL Y TEXTURA DE LA MEZCLA DE MAÍZ <i>Zea mays</i>, FRÉJOL <i>Phaseolus vulgaris</i> Y CAMOTE <i>Ipomoea batata</i> EN EL SNACK.
AUTOR	Carvajal Basantes Saskia Poleth
FECHA	18 de enero de 2018
PROGRAMA	X PREGRADO POSTGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA	Ingeniero Agroindustrial
DIRECTOR	Ing. Luis Manosalvas, MSc.

2.- AUTORIZACIÓN DE USO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD

Yo, Saskia Poleth Carvajal Basantes de cédula de ciudadanía N° 172451997-8 en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales de la obra o trabajo de grado descrito anteriormente, hago entrega del ejemplar respectivo en formato digital y autorizo a la Universidad Técnica del Norte, la publicación de la obra en el Repositorio Digital Institucional y uso del archivo digital en la Biblioteca de la Universidad con fines académicos, para ampliar la disponibilidad del material y como apoyo a la educación, investigación y extensión; en concordancia con la Ley de Educación Superior Artículo 144.

3.- CONSTANCIAS

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

Ibarra, 07 de enero de 2019

Autora



Saskia Poleth Carvajal Basantes

C.C: 172451997-8

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

Yo Saskia Poleth Carvajal Basantes, con cédula de identidad Nro. 172451997-8, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autora de la obra o trabajo de grado denominado: **EFFECTOS DE LOS PARÁMETROS DE EXTRUSIÓN SOBRE LA CALIDAD NUTRICIONAL Y TEXTURA DE LA MEZCLA DE MAÍZ *Zea mays*, FRÉJOL *Phaseolus vulgaris* Y CAMOTE *Ipomoea batata* EN EL SNACK**, que ha sido desarrollado para optar por el título de: **INGENIERA AGROINDUSTRIAL** en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 07 días del mes de enero de 2019


Saskia Poleth Carvajal Basantes

C.C: 172451997-8

DECLARACIÓN

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



Poleth Carvajal B

Saskia Poleth Carvajal Basantes

C.C: 172451997-8

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por la Srta. Saskia Poletth Carvajal Basantes, con cédula de ciudadanía 172451997-8 bajo mi supervisión.



Ing. Luis Armando Manosalvas Quiroz

DIRECTOR DE TESIS

AGRADECIMIENTO

Agradezco infinitamente a Dios, por haberme dado fuerza, valor y constancia para culminar esta etapa de mi vida y sobre todo a mis Padres, Ernesto y Chelita por haberme brindado su apoyo incondicional, esfuerzo y confianza, que sin duda alguna en el trayecto de mi vida me demostraron su amor corrigiendo mis faltas y celebrando mis triunfos.

A mis hermanos Grasse, Ronny, Huguito, Patricio, cuñadas y sobrinos por su cariño y apoyo incondicional y por creer en mí durante todo este proceso, por estar conmigo en todo momento porque con sus oraciones, consejos y palabras de aliento hicieron de mí una mejor persona y de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

En el camino encuentras personas que iluminan tu vida, que con su apoyo alcanzas de mejor manera tus metas, a través de sus consejos, de su amor, y paciencia gracias mi fiel amigo y compañero Patricio D.

Poleth Carvajal

DEDICATORIA

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo el periodo.

A mi madre Chelita Basantes, por darme la vida, amarme mucho, creer en mí y porque siempre me apoyaste. Mamá gracias por darme una carrera para mi futuro, todo esto te lo debo a ti.

A mi Padre Ernesto Carvajal Por los ejemplos de perseverancia y constancia que lo caracterizan y que me ha infundado siempre, por el valor mostrado para salir adelante y por su amor.

A mis pequeñitos amados Lineth, Ayme, Doménica Alexander, Ariel, Israel, que siempre me sacaron una sonrisa, los amo demasiado.

A mi linda Familia en general por estar conmigo en todo momento y apoyarme siempre, los quiero mucho.

A mis amig@s Katte, Eve, Shey, Karen, Xime, Patricio, Renato, José, Gabriel, Daniel, por el apoyo brindado en esta etapa universitaria y por compartir buenos y malos momentos a mi lado.

Poleth Carvajal

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS	i
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iii
RESUMEN.....	v
SUMMARY	vi
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Problema	1
1.2 Justificación	2
1.3 Objetivos.....	3
1.4 Hipótesis	3
CAPÍTULO II	4
MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 Descripción de materias primas	4
2.2 Taxonomía del maíz, fréjol y camote.....	6
2.3 Composición nutricional de las materias primas	6
2.4 Producción nacional	10
2.5 Contenido de aminoácidos	14
2.6 Snacks	15
2.7 Requisitos del contenido nutricional de snacks extruidos de cereales....	16
2.8 Extrusión	16
2.9 Efectos del proceso de extrusión sobre las características del extruido..	33

CAPÍTULO III.....	39
MATERIALES Y MÉTODOS	39
3.1 Caracterización del área de estudio.....	39
3.2 Materiales y equipos.....	39
3.3 Metodología	41
3.4 Variables evaluadas.....	43
3.5 Manejo específico de la investigación	58
CAPÍTULO IV.....	61
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	61
4.1 Caracterización fisico-química de las materias primas.....	62
4.2 Determinación de las propiedades fisico-químicas del producto final ..	65
4.3 Determinación de las propiedades funcionales del producto final.....	88
4.4 Análisis de perfil textura de producto extruidos	103
4.5 Análisis de aceptabilidad sensorial del producto extruido.....	111
4.6 Análisis complementarios	116
CAPÍTULO V	119
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	119
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	122
ANEXOS	128

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Identificación taxonómica del fréjol, camote y maíz.....	6
Tabla 2. Composición nutricional del maíz	7
Tabla 3. Composición química del fréjol.....	8
Tabla 4. Composición química del camote	9
Tabla 5. Producción Nacional del maíz duro seco 2016.....	10
Tabla 6. Superficie, Producción y Rendimientos Provinciales (Fréjol Tierno)....	11
Tabla 7. Superficie, Producción y Rendimientos Provinciales (Fréjol Seco).....	12
Tabla 8. Producción nacional del camote	13
Tabla 9. Composición de aminoácidos esenciales en el maíz.....	14
Tabla 10. Composición de aminoácidos esenciales en el fréjol.....	14
Tabla 11. Composición de aminoácidos esenciales en el camote.....	15
Tabla 12. Norma Técnica Colombiana para snacks extruidos.....	16
Tabla 13. Retención de la actividad de las vitaminas en la extrusión.....	30
Tabla 14. Parámetros de Análisis de Textura.....	37
Tabla 15. Factores de estudio.....	41
Tabla 16. Nomenclatura de los tratamientos.....	41
Tabla 17. DCA AxBxC + 1.....	42
Tabla 18. Análisis Físico-químico de los griz de maíz, fréjol y camote.....	43
Tabla 19. Propiedades Físico-químicas del producto extruido	51
Tabla 20. Propiedades funcionales del snack.....	52
Tabla 21. Análisis de Textura Instrumental	55
Tabla 22. Condiciones del proceso de extrusión.....	61
Tabla 23. Composición nutricional de las materias primas	62

Tabla 24. Composición nutricional de las mezclas.....	64
Tabla 25. Análisis de varianza de las variables fisico-químicas de los extruidos.	66
Tabla 26. Resumen del análisis Físico-químico de los productos extruidos.....	87
Tabla 27. Análisis de Varianza de las propiedades funcionales de los extruidos .	88
Tabla 28. Análisis de Varianza de textura descriptiva de los extruidos.....	103
Tabla 29. Rangos Tukey ($p \leq 0.05$) de los atributos de textura del producto	104
Tabla 30. Análisis de Varianza de textura instrumental del producto extruido..	105
Tabla 31. Rangos Tukey ($p \leq 0.05$) de textura instrumental del producto	106
Tabla 32. Correlación de Pearson Textura descriptiva vs Textura instrumental	107
Tabla 33. Componentes principales con su respectiva variabilidad	109
Tabla 34. Matriz de componente rotado de variables de textura	110
Tabla 35. Resumen del análisis de aceptabilidad sensorial de los extruidos	116
Tabla 36. Digestibilidad de la proteína de los productos extruidos.....	117
Tabla 37. Contenido de aminoácidos del mejor tratamiento.....	118

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Vista esquemática de un extrusor con las partes principales.....	16
Figura 2. Zona de las etapas de extrusión y evolución de la presión.....	21
Figura 3. Curva típica del análisis de perfil de textura	36
Figura 4. Contenido de humedad de los tratamientos.....	68
Figura 5. Factores e Interacciones que afectaron al contenido de humedad.....	69
Figura 6. Interacción AB, AC en la variable humedad.....	70
Figura 7. Contenido de cenizas de los tratamientos.....	71
Figura 8. Factores e interacciones que influyeron al contenido de cenizas	72
Figura 9. Contenido de proteína de los tratamientos.....	73
Figura 10. Factores e Interacciones que influyeron en el contenido de proteína..	75
Figura 11. Interacción AB, AC, BC en variable proteína.....	75
Figura 12. Contenido de extracto etéreo en los tratamientos.....	77
Figura 13. Factores e Interacciones que influyeron en el extracto etéreo.....	78
Figura 14. Interacción AB AC, BC en el extracto etéreo.....	79
Figura 15. Contenido de fibra en los tratamientos	81
Figura 16. Factores e interacciones que afectaron en la variable fibra	82
Figura 17. Interacción AB, AC, BC en el contenido de fibra.....	82
Figura 18. Contenido de carbohidratos en los tratamientos.....	84
Figura 19. Factores e Interacciones que influyeron en la variable carbohidratos .	84
Figura 20. Interacción AB, AC, BC en el contenido de carbohidratos.....	85
Figura 21. Índice de expansión de los tratamientos	90
Figura 22. Factores e Interacciones que influyeron en el índice de expansión.....	91
Figura 23. Interacción AB, AC, BC en el índice de expansión.	92

Figura 24. Densidad aparente de los tratamientos	94
Figura 25. Factores e interacciones de la densidad aparente	95
Figura 26. Interacción AB, AC, BC en la densidad aparente.	96
Figura 27. Índice de Absorción de Agua (IAA) en los tratamientos	97
Figura 28. Factores e interacciones que influyen en el IAA	98
Figura 29. Interacción AB, AC en el índice de absorción de agua.	99
Figura 30. Índice de Solubilidad de Agua (ISA) en los tratamientos	101
Figura 31. Factores e Interacciones que influyeron en el ISA	102
Figura 32. Interacción AB, AC, BC en el índice de solubilidad de agua.....	102
Figura 33. Diagrama de dispersión de los componentes principales	110
Figura 34. Puntuaciones de color en el producto extruido.....	112
Figura 35. Puntuaciones de olor en el producto extruido.....	113
Figura 36. Puntuaciones de textura en el producto extruido.....	114
Figura 37. Puntuaciones de sabor en el producto extruido	115

RESUMEN

Los cereales, leguminosas y tubérculos son fuentes ricas en contenido de proteína, carbohidratos complejos, vitaminas y minerales de alto valor nutricional. Por lo tanto, este proyecto propone evaluar el proceso productivo mediante la extrusión, para la obtención de un snack nutritivo que incluye la adición de griz de maíz, fréjol y camote, mediante la aplicación térmica, para obtener productos expandidos, crujientes, nutritivos y listos para el consumo. El objetivo fue determinar los efectos de las condiciones del proceso: temperatura (110°C – 140°C), humedad (15% - 20%) y tipo de mezcla: maíz *Zea mays*, fréjol *Phaseolus vulgaris* y camote *Ipomoea batata* en relación (p/p): 80/10/10 y 70/15/15 sobre las propiedades nutricionales, funcionales y textura del snack.

Los resultados registrados en las propiedades físico-químicas mostraron que el mayor contenido nutricional de los productos extruidos, fueron las mezclas: 70/15/15 acondicionadas a 15% de humedad y procesadas a 140°C, con valores de proteína (12,48%), ceniza (1,36%) y fibra (1,28%) con relación al testigo tipo comercial (100% maíz) que presento contenidos de proteína (8,32%), ceniza (0,57%) y fibra (0,64%). En cuanto a las propiedades funcionales, el testigo (100% maíz) y los tratamientos de las mezclas: 80/10/10, mostraron un mayor índice de expansión y bajos niveles de densidad aparente en los productos extruidos, debido a la calidad del almidón del maíz, fréjol y camote. Además, el bajo contenido de humedad de la mezcla (15%) y la alta temperatura de extrusión (140 °C) provocó un menor índice de absorción de agua (IAA) y alto índice de solubilidad de agua (ISA).

Asimismo, al realizar el análisis de correlación de Pearson y componentes principales entre la textura sensorial descriptiva y la textura instrumental, se pudo determinar que las sondas de compresión, punción y corte guillotina se correlacionan significativamente con los atributos de dureza y crujencia.

Este estudio demostró que la incorporación de leguminosas y tubérculos a una mezcla con maíz puede mejorar tanto las características físico-químicas como funcionales de los snacks ya que incrementa el contenido y calidad nutricional.

SUMMARY

The cereals, legumes and tubers are rich sources in proteins, complex carbohydrates, vitamins and minerals of high nutritional value. Therefore, this Project proposes to evaluate the productive process through about extrusion, to obtain a nutritious snack, it includes gritz of: corn, beans and sweet potatoes, by means of thermal application, to obtain: expanded, crunchy, nutritious products and ready to consume. The objective of this project was to determine the effects of the process conditions: temperature (110°C - 140°C), humidity (15% - 20%) and type of mixture: *Zea mays* corn, *Phaseolus vulgaris* beans and *Ipomea* sweet potato batata in relation (p/p): 80/10/10 and 70/15/15, the nutritional and functional properties, and texture of the snack.

The recorded results included the physical-chemical properties showed that the highest nutritional content of the extruded products, those are of the mixture: 70/15/15 conditioned at 15% humidity and processed at 140°C, with protein values (12.48%), ash (1.36%) and fiber (1.28%) in relation to the commercial type control (100% corn) containing protein content (8.32%), ash (0.57%) and fiber (0, 64%). In terms of the functional properties, the control (100% corn) and the treatments of the mixture: 80/10/10, it showed higher index of expansion and low levels of apparent density in the extruded content, owing to the quality of the : corn , beans and sweet potatoes ,starch. Also the low content of the humidity in the mixture (15%) and the high extrusion temperature (140 °C) caused a lower water absorption index (WAI) and a high water solubility index (WSI).

Likewise, when doing Pearson correlation analysis and the main components between descriptive sensory texture and instrumental texture, it could be determined that the compression probes, puncture, and guillotine cutting are correlated with the hardness and crunchiness attributes.

This study showed that the incorporation of legumes and tubers, to a mixture with corn, can improve both the physical and functional characteristics of the snacks and since the content and nutritional quality is increased.

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 PROBLEMA

La alimentación humana cumple con un factor importante en la vida, dentro de lo cual la comunidad actual por motivos de trabajo, facilidad, economía y rapidez recurre a consumir alimentos que no son apropiados nutricionalmente. Los individuos más vulnerables en su alimentación son niños y adolescentes, quienes tienden a elegir su menú en forma inadecuada introduciendo a la dieta snacks con un alto contenido calórico y bajo valor nutricional (Cajamarca, 2012). El consumo de snacks ha incrementado un 64% en los últimos 4 años, ya que son alimentos de fácil acceso, bajo costo y se consumen fuera del hogar (Ensanut-Ecu, 2014).

Los snacks extruidos son productos procesados elaborados a partir de cereales que contiene un alto contenido de almidón, lo que contribuye a exceder las necesidades energéticas diarias. Por sus altos contenidos de sal, grasa y azúcar, existe la posibilidad de desatar enfermedades como la diabetes, sobrepeso e hipertensión.

Entre las leguminosas y tubérculos producidas en la región se encuentran: el fréjol *Phaseolus vulgaris* y el camote *Ipomoea batata*, que a pesar de su alto valor nutricional no han sido aprovechados de la mejor manera en la industria, aspecto que de alguna manera repercute en la inestabilidad de precios en el mercado local.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Los alimentos son un recurso fundamental en la vida del ser humano en este contexto el presente proyecto se enfoca a la investigación de nuevos productos que puedan ser accesibles, agradables, con un alto valor nutritivo que contribuya a resolver problemas de mal nutrición en niños y adolescentes.

Para ello se requiere utilizar alternativas de materias primas como es el caso de una mezcla de griz de maíz, fréjol y camote para la elaboración de un snack, ya que estos productos disponen de un alto contenido proteico, carbohidratos complejos, vitaminas y minerales de alto valor nutricional.

Según estudios, se ha mencionado que las leguminosas promueven beneficios para la salud, como son un bajo índice glucémico, alto índice de saciedad, prevención del cáncer y protección contra enfermedades cardiovasculares.

Por lo tanto, este proyecto de investigación propone evaluar el proceso productivo mediante la extrusión, para la obtención de un snack nutritivo que incluye la adición de harinas de cereal, leguminosa y tubérculo, mediante aplicación térmica, para obtener productos expandidos, crujientes, nutritivos y listos para el consumo.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

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

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Determinar el contenido nutricional de las materias primas (gritz).
- ❖ 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

1.4.1 HIPÓTESIS ALTERNATIVA

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

1.4.2 HIPÓTESIS NULA

Ho: La mezcla de gritz (maíz, fréjol, camote) 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 DESCRIPCIÓN DE MATERIAS PRIMAS

2.1.1 MAÍZ

El maíz *Zea mays L.*, es uno de los granos alimenticios más antiguos que se conocen tuvo un papel central tanto en el origen como en la difusión de la agricultura y en todas las civilizaciones indígenas de Mesoamérica, estos grupos dependieron en gran medida del cultivo de maíz (Sánchez, 2011).

El maíz se originó en los altos Andes de Bolivia, Ecuador y Perú. La principal justificación para esta hipótesis fue la presencia de maíz reventón en América del Sur y la amplia diversidad genética presente en los maíces andinos, especialmente en las zonas altas de Perú (Paliwal, 2001).

Así mismo, es uno de los cereales más importantes en la industria, debido a su alto contenido de almidón, siendo uno de los principales en la alimentación mundial. Con el desarrollo de las tecnologías es una materia prima para la productividad, elaborando subproductos tales como: almidón, aceite, bebidas alcohólicas, edulcorantes alimenticios, pastas, pan, galletas, balanceados y biocombustibles (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias [INIAP], 2011).

Es un cereal altamente nutritivo, debido al aporte en calorías y proteínas. El grano de maíz está constituido: 77% almidón, 2% azúcares, 9% proteínas, 5% aceites y 2% ceniza (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria [INTA], 2010).

2.1.2 FRÉJOL

Entre los años 9000 y 5000 A.C. en distintas partes del mundo se domesticó numerosas especies vegetales, entre ellas el fréjol conocido como *Phaseolus vulgaris L.* Esta leguminosa ocupa el octavo lugar entre las más sembradas en el mundo, ya que representa un alimento básico en la dieta diaria; además gran parte de esta es utilizada como parte de procesos industriales (Hernandez, Vargas, & Maruaga, 2013).

En Ecuador, principalmente en la región Sierra, estas leguminosas son componentes de los sistemas de producción, ya que son cultivadas en asociación, intercaladas, en monocultivos o en rotación con otros cultivos del sistema, por tal razón juegan un papel fundamental en el desarrollo sostenible de la agricultura y la alimentación (INIAP, 2010).

El grano es una fuente importante de calorías, proteínas, vitaminas del complejo B como son niacina, la riovflavina, ácido fólico y tiamina. De igual manera proporciona hierro, cobre, zinc, fósforo, potasio, magnesio, calcio y tiene un alto contenido de fibra. Esta leguminosa complementa a los cereales y demás alimentos ricos en carbohidratos, ya que aporta con nutrientes necesarios para el ser humano, además su ingesta contribuye a la disminución de los niveles de colesterol y riesgo de cáncer (Serrano, 2010).

2.1.3 CAMOTE

Para algunos autores “el camote *Ipomoea batatas L.*, es un cultivo tradicional muy antiguo en el continente americano, con evidencias arqueológicas en la costa peruana de entre 4000-8000 años” (Basurto et al., 2015).

El camote es básicamente un cultivo amiláceo, subsidiario de la papa, pero que en El Caribe y en varios países de África forma parte importante de la dieta diaria, aportando más de 20% de la ingesta calórica o de carbohidratos (Basurto et al., 2015).

En el Ecuador se cultivan alrededor de 17 variedades de camote según el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias del Ecuador. Este organismo explica que el conocimiento que se tiene con respecto a los procesos industriales a los cuales

se pueden someter a esta especie es poco, más aún con respecto a las características físico-químicas y reológicas propias del camote, las cuales difieren dependiendo de cada una de las variedades (INIAP, 2015).

Este tubérculo es de fácil propagación, con pocos requerimientos de agua y fertilizantes. Dicha planta que no está siendo aprovechada, pese a ser una excelente alternativa alimenticia en la elaboración de diversos productos (Sacón, Bernal, Dueñas, & Cobeña, 2016). Está considerado como un alimento nutri funcional debido a sus nutrientes y a su alto contenido de hidratos de carbono, fibras y antioxidantes, además de minerales como: potasio, calcio y compuestos polifenoles, los que aportan significativamente a satisfacer los requerimientos nutricionales para un correcto desempeño de metabolismo, ya que por su bajo contenido de celulosa es muy digeribles.

2.2 TAXONOMÍA DEL MAÍZ, FRÉJOL Y CAMOTE

Tabla 1. Identificación taxonómica del fréjol, camote y maíz

	MAÍZ	FRÉJOL	CAMOTE
Reino	Plantae	Plantae	Viridiplantae
División	Magnoliophyta	Magnoliophyta	Magnoliophyta
Clase	Liliopsida	Dicotiledónea	Magnoliopsia
Sub Clase	Panicoideae	Rosidae	Asteridae
Orden	Poales	Fabales	Solanales
Familia	Poaceae	Fabaceae	Convolvulaceae
Género	<i>Zea</i>	<i>Phaseolus</i>	<i>Ipomoea</i>
Especie	<i>Zeamays L</i>	<i>Phaseolus vulgaris L</i>	<i>Ipomoea batatas L</i>

Fuente: (Valladares, 2010; National Center for Biotechnology Information, 2009; INIAP, 2011)

2.3 COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DE LAS MATERIAS PRIMAS

2.3.1 MAÍZ

Una semilla de maíz común está compuesta de 70 a 75% de almidón, 8 a 10% de proteína y 4 a 5% de aceite, contenidas en tres estructuras: el germen (10%), el endospermo (80%), y el pericarpio. La fracción proteínica del endospermo contiene 25% de proteína de tipo gluteína y 60% de proteína de baja calidad tipo zeina, deficiente en lisina y triptófano (Méndez et al ., 2005; Gutiérrez & Coronado, 2010).

Los gritz de maíz se producen mediante la molienda seca del grano y proporciona a las masas capacidad de absorción de agua sin aportar firmeza a la misma. Comúnmente es utilizada para elaborar productos extruidos (Madeira *et al.*, 2014).

El maíz contiene un mayor porcentaje de almidón, que corresponde al 75% del peso del grano. Después del almidón, las proteínas constituyen el siguiente componente químico del grano por orden de importancia. El maíz es un cereal deficiente en lisina y triptófano, sin embargo, es rica en metionina, por lo que al ser mezclado con una leguminosa pobre en metionina se obtiene un producto con balance de aminoácidos y por lo tanto de mejores características nutricionales. (Muños, 2012)

Tabla 2. Composición nutricional del maíz

Composición	Contenido en 100g de porción comestible	Composición química en gritz de maíz%
Humedad		15,00 ± 0,28
Energía	86,00 Kcal	
-Grasa		3,80 ± 0,11
Proteína	3,22 g	7,80 ± 0,40
Hidratos de carbono	3,22 g	
Almidón		68,00
- Amilosa		23,80
- Amilopectina		76,10
Fibra	2,70 g	7,29 ± 0,28
Potasio	270,00 g	
Calcio	2,00 mg	
Fósforo	89,00 mg	
Magnesio	37,00 mg	

Fuente: (Suquilanda, 2011; León & Rosell, 2007)

2.3.2 FRÉJOL

La principal importancia que presenta este tipo leguminosa, es ser una excelente fuente de proteínas, aminoácidos esenciales y hierro. Se considera que este grano contiene el doble de proteína e igual cantidad de carbohidratos que los cereales.

Por otra parte, el fréjol un valor nutrimental alto, en gran medida por el contenido de fibra, vitaminas y minerales. Además, dispone de componentes fitoquímicos con potencial benéfico a la salud humana, por ello son denominados alimentos nutraceuticos o funcionales (Guzmán et al., 2002; Mederos, 2006).

Tabla 3. Composición química del fréjol

Componente	Cantidad por 100 g de porción comestible
Proteína	21,40 g
Energía	304,60 kcal
Grasa	1,50 g
Carbohidratos	54,80 g
Fibra	21,30 g
Calcio	126,00 mg
Hierro	6,20 mg
Yodo	1,60 µg
Zinc	3,50 mg
Magnesio	163,00 mg
Sodio	40,00 mg
Potasio	1160,00 mg
Fósforo	400,00 mg
Ac. Ascórbico	3,40 mg
Vitamina E	2,00 mg
Ac. Fólico	316,00 µg
Tiamina	0,50 µg
Rivoflavina	0,17 mg
Niacina	2,40 mg
Piridoxina B6	0,42 mg

Fuente: (Mataix, 2009)

2.3.3 CAMOTE

Según estudios realizados por INIAP (2015) indica que “el camote es un alimento de alta energía, cuyas raíces tienen un contenido de carbohidratos totales de 25 a 30 %, de los cuales el 98 % son considerados fácilmente digeribles; consecuentemente es ideal para elaboración de harinas como subproducto”.

El almidón que posee esta raíz contiene alta cantidad de amilosa y un valor de amilopectina considerable, esto hace que tenga alto poder de absorción, densidad y viscosidad; características adecuadas para una alternativa de procesamiento en varios alimentos. (Oladebeye & Oshodi, 2009).

El camote contiene una alta concentración de carbohidratos, celulosa, ácido ascórbico y entre otros elementos como: sodio, fósforo, potasio y calcio en pequeñas cantidades. Es importante señalar que todas estas características químicas representan un valor significativo en la alimentación y de acuerdo a Salazar et al., (2010) la mayor importancia en el consumo de la batata está asociada con su apreciable contenido de carotenoides, precursores de la vitamina A y antioxidantes naturales.

El contenido neto de proteínas de este tubérculo es relativamente bajo, sin embargo, es de gran valor biológico ya que puede complementarse con leguminosas y algunos cereales para aumentar su valor nutritivo y compensar la falta de componentes (Ruíz, 2010).

Tabla 4. Composición química del camote

Componentes	Cantidad por 100 g de porción comestible
Calorías	105,00 kcal
Agua	72,84 g
Proteína	1,65 g
Grasa	0,30 g
Ceniza	0,95 g
Carbohidratos	24,28 g
Fibra	3,00 g
Calcio	22,00 mg
Hierro	0,59 mg
Fósforo	28,00 mg
Potasio	337,00 mg
Vitamina C	22,70 mg
Vitamina A	14,55 IU

Fuente: (CNBI, 2013)

2.4 PRODUCCIÓN NACIONAL

2.4.1 MAÍZ

Entre los años 2000 al 2012, la producción nacional de maíz duro seco en Ecuador aumentó 19%, principalmente por el incremento en los precios internacionales y a su alta demanda en la agroindustria. (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca [MAGAP], 2013).

Tabla 5. Producción Nacional del maíz duro seco 2016

Provincia	Sup. Plantada (Ha)	Sup. Cosechada (Ha)	Producción (t)	Rendimiento (t/h)
Azuay	1338.00	1284.00	1604.00	1.30
Bolívar	177.00	177.00	235.00	1.30
Carchi	278.00	234.00	671.00	2.90
Cañar	1296.00	1281.00	1311.00	1.00
Chimborazo	689.00	661.00	745.00	1.10
Cotopaxi	18.00	18.00	11.00	0.60
El Oro	1141.00	1118.00	2790.00	2.50
Esmeraldas	1221.00	1221.00	1889.00	1.60
Guayas	46372.00	39252.00	129493.00	3.30
Imbabura	629.00	547.00	763.00	1.40
Loja	31049.00	29089.00	118693.00	4.10
Los Ríos	127953.00	111693.00	402779.00	3.60
Manabí	81963.00	76593.00	305774.00	4.00
Morona Santiago	858.00	858.00	2143.00	2.50
Napo	6347.00	6331.00	12510.00	2.00
Orellana	2756.00	2735.00	3663.00	1.30
Pastaza	197.00	197.00	226.00	1.20
Pichincha	51.00	43.00	36.00	0.80
Santa Elena	4895.00	4582.00	31749.00	6.90
Santo Domingo de los Tsachilas	2408.00	2321.00	8230.00	3.60
Sucumbíos	2743.00	2569.00	3080.00	1.20
Tungurahua	39.00	25.00	18.00	0.70
Zamora Chinchipe	80.00	80.00	64.00	0.80
ECUADOR	314606.00	282976.00	1028532.00	

Fuente: (SPAC, 2016)

2.4.2 FRÉJOL

En el año 2000 el censo reveló una superficie cosechada de fréjol tierno de alrededor de 13.6 mil hectáreas, que comparadas con las 30 mil hectáreas de la encuesta del 2012 significa un aumento del 12%. En este mismo periodo la productividad disminuyó en un 15% (de 0.62 a 0.53 tm/ha). A su vez, en el censo del año 2000 se registró una superficie cosechada de fréjol seco de alrededor de 89.7 mil hectáreas, mientras que en la encuesta del 2012 se reportó una superficie de 35 mil hectáreas, lo que significa una reducción de 61%. Cabe destacar, que en este mismo período la productividad aumento en un 42% (de 0.20 a 0.28 tm/ha) (Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continuas [ESPAC], 2013).

Tabla 6. Superficie, Producción y Rendimientos Provinciales (Fréjol Tierno)

PROVINCIA	2012			
	Superficie Sembrada (ha)	Superficie Cosechada (ha)	Producción (tm)	Rendimiento (tm/ha)
Total Nacional	33,48	30,09	15,92	0,53
Azuay	12,88	11,98	1,38	0,11
Bolívar	4,12	3,25	5,16	0,16
Loja	3,29	2,59	8,13	0,31
Chimborazo	2,50	2,47	2,22	0,90
Manabí	2,27	2,25	1,59	0,71
Imbabura	1,64	1,54	2,23	1,44
Otros	6,77	5,99	7,18	1,20

Fuente: (ESPAC, 2013)

Tabla 7. Superficie, Producción y Rendimientos Provinciales (Fréjol Seco)

PROVINCIA	2012			
	Superficie Sembrada (ha)	Superficie Cosechada (ha)	Producción (tm)	Rendimiento (tm/ha)
Total Nacional	38,16	35,11	9,99	0,28
Azuay	12,24	11,20	1,53	0,14
Bolívar	7,77	7,55	1,517	0,20
Chimborazo	3,93	3,91	1,91	0,49
Loja	3,72	2,88	8,74	0,30
Los Ríos	2,89	2,79	1,32	0,47
Cotopaxi	2,19	1,98	339	0,17
Otros	5,42	4,78	2,49	0,52

Fuente: (ESPAC, 2013)

En cuanto al fréjol tierno, Imbabura es la provincia con mayor producción (14%), cuenta con el mayor nivel de productividad del país (1.44 tm/ ha) pese a tener la menor superficie cosechada 1.53 mil hectáreas (MAGAP, 2013).

2.4.3 CAMOTE

El cultivo del camote en el Ecuador, esta favorecido ya que el país posee características geográficas y climáticas óptimas para su desarrollo, estos se propagan en las tres regiones Sierra, Costa y Oriente, pues existen localidades en especial en las provincias de Morona Santiago, Loja, Pichincha, Carchi, Imbabura, Pastaza, Guayas y Manabí, donde el clima, la altitud y el suelo le es propicio (Pinto, 2012).

De acuerdo con los datos del programa Cultivos Camote y Yuca del Instituto Nacional de Investigación Agropecuaria (INIAP), en la actualidad existen 1.030 hectáreas (ha) sembradas con camote en el país. En el 2008 apenas eran 396 ha.

En términos de productividad, el rendimiento por hectárea pasó de 3.92 toneladas métricas a 9.7 toneladas métricas (INIAP,2010).

Tabla 8. Producción nacional del camote

REGIÓN PROVINCIA	Superficie (ha)	Rendimiento (Kg/ha)	Producción (T)
SIERRA	427,00	2417,00	1032,00
Azuay	26,00	3435,00	79,00
Bolívar	33,00	2636,00	87,00
Cañar	17,00	2176,00	37,00
Carchi	10,00	2500,00	25,00
Chimborazo	22,00	2227,00	49,00
Cotopaxi	42,00	2286,00	96,00
Imbabura	59,00	1898,00	112,00
Loja	63,00	2857,00	180,00
Pichincha	148,00	2365,00	350,00
Tungurahua	7,00	2429,00	17,00
COSTA	279,00	3921,00	1094,00
El Oro	3,00	*	*
Guayas	78,00	3231,00	252,00
Manabí	198,00	4252,00	842,00
AMAZONÍA	860,00	957,00	823,00
Morona Santiago	715,00	818,00	585,00
Napo	9,00	2000,00	18,00
Pastaza	109,00	1954,00	213,00
Sucumbíos	6,00	1167,00	7,00
Orellana	21,00	*	*
TOTAL NACIONAL	1566,00	1883,00	2949,00

Fuente: (Chamba, 2008)

2.5 CONTENIDO DE AMINOÁCIDOS

2.5.1 MAÍZ

Tabla 9. Composición de aminoácidos esenciales en el maíz

Aminoácidos Esenciales	g /100g proteína
Arginina	4,20
Fenilalanina	4,70
Histidina	2,60
Isoleucina	4,00
Leucina	12,5
Metionina	2,00
Treonina	3,80
Triptófano	0,70

Fuente: (FAO, 2000)

2.5.2 FRÉJOL

Tabla 10. Composición de aminoácidos esenciales en el fréjol

Aminoácidos Esenciales	g /100g proteína
Isoleucina	1,93
Leucina	1,69
Lisina	1,59
Metionina	0,23
Fenilalanina	1,15
Treonina	1,28
Triptófano	0,39
Arginina	3,23
Histidina	0,67

Fuente: (INIAP, 2010)

2.5.3 CAMOTE

Tabla 11. Composición de aminoácidos esenciales en el camote

Aminoácidos Esenciales	g /100g proteína
Isoleucina	4,20
Leucina	7,80
Fenilalanina	10,10
Treonina	5,50
Triptófano	0,80
Valina	6,80
Lisina	14,40
Alanina	4,30

Fuente: (Scott, Herrera, Espinola, Daza, & Fonseca, 2000)

2.6 SNACKS

Los snacks son productos alimenticios que permiten mitigar el hambre sin llegar a ser una comida completa, se los conoce como pasabocas, bocaditos, botanas, elaborados a partir de cereales, leguminosas, granos y semillas horneados o fritos listos para el consumo (NTE INEN 2570, 2011).

El sector de snacks ecuatorianos, usa como insumos una gran variedad de productos, entre ellos plátano, papa, yuca, camote, malanga y hasta mezclas de varias hortalizas, que cada vez van ganando mayor reconocimiento y posicionamiento nacional e internacional. Las materias primas utilizadas son de alta calidad nutricional debido a las condiciones climatológicas óptimas del país (PRO ECUADOR, 2014).

Además, PRO ECUADOR, (2014) menciona que “la elaboración de snacks en el país genera un gran impacto inclusivo en beneficiar a pequeños productores que proveen la materia prima, generando fuentes de empleo y por ende el desarrollo de la población rural”.

2.7 REQUISITOS DE CONTENIDO NUTRICIONAL DE SNACKS EXTRUIDOS EXPANDIDOS A BASE DE CEREALES

Tabla 12. Norma Técnica Colombiana para snacks extruidos

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

Fuente: (NTC 3659, 2006)

2.8 EXTRUSIÓN

2.8.1 GENERALIDADES

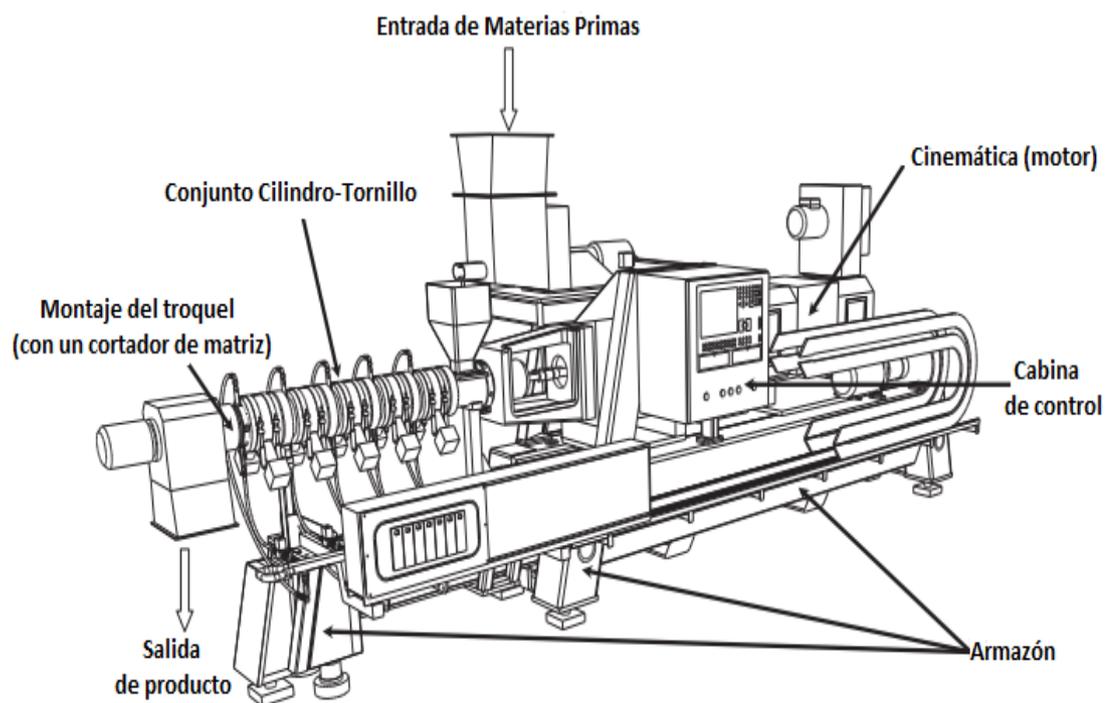


Figura 1. Vista esquemática de un extrusor con las partes principales

(Bouvier & Campanella, 2014)

La extrusión es un proceso continuo que involucra el trabajo y la compresión sobre un material para formar una masa semisólida, que en determinadas condiciones controladas es forzada a fluir a través de una abertura restringida o dado. En dicho proceso, se combinan una serie de operaciones unitarias que incluyen mezclado, amasado, cizallamiento, calentamiento, enfriamiento, conformación, texturización y deshidratación de materiales alimenticios, como granos, leguminosa y semillas. Estas operaciones se ejecutan en una sola pieza del equipo compacto, el cual desperdicia poca energía y necesita únicamente una pequeña cantidad de espacio (Torres & Pérez, 2006).

Lević, Olivera, Mr, Sredanović, & Kokić, (2010) indican que el concepto básico del proceso de extrusión es la alta temperatura y corto tiempo, donde la alta temperatura es resultado directo de la fricción y disipación de la energía (extrusión en seco) e inyección de vapor en el pre acondicionamiento (extrusión húmeda), o una combinación de ambos. La humedad del material tratado en la extrusión en seco es de aproximadamente 30%, mientras que en la extrusión húmeda es hasta del 80%.

2.8.2 PRINCIPIOS BÁSICOS

La extrusión es un conjunto de procesos tales como, transporte, flujo de materiales, transferencia de masa y energía. En esta tecnología pueden intervenir ingredientes alimenticios de diversos tipos y se denominan extruidos o extrudados. Todos los ingredientes involucrados en el proceso de extrusión fluyen a través de un canal con una geometría definida. Los requisitos de potencia para el proceso dependen directamente de las características de flujo a través del canal, estos requisitos también dependen de las propiedades del fluido utilizado (Singh & Heldman, 2014).

Durante la extrusión en caliente se utiliza un sistema de calefacción, el cual hace que la temperatura aumente, permitiendo obtener los productos de baja densidad y humedad, como aperitivos o snacks que posteriormente pasan por un secado (Gimferrer, 2009).

2.8.3 TIPOS DE EXTRUSORES

Los extrusores vienen en varios diseños dependiendo de su aplicación. Algunos están diseñados simplemente para transportar las materias primas mientras que otros están diseñados para mezclar y amasar. La mayoría sin embargo están diseñados para impartir energía mecánica y térmica a las materias primas para producir los deseados cambios fisicoquímicos. Los extrusores pueden ser ampliamente clasificados en función del número de tornillos. Los más comúnmente utilizados son los extrusores de un solo y doble tornillo. (Karve, 2010)

➤ Extrusores en caliente

El alimento se calienta por contacto de las paredes de la camisa que rodea al extrusor y/o por contacto con el tornillo calentado internamente con el vapor. En algunos de ellos el cilindro se calienta eléctricamente por inducción, pero parte del calor procede también de la fricción generada por el tornillo y los rieles internos del cilindro. (Aguirre, 2013)

Durante la extrusión en caliente los alimentos almidonosos cambian su humedad ya que esta incrementa por adición de agua y el almidón se somete a elevadas temperaturas, intensas fuerzas de cizalla. Como consecuencia de ello los granos de almidón se hinchan, absorben agua y se gelatinizan, su estructura macromolecular se abre dando lugar a una masa viscosa. Ello hace que el almidón, sin degradarse, se haga más soluble. Los cambios que se producen en su solubilidad se da a diferentes condiciones de temperatura e intensidad de fuerza de cizalla se miden mediante el índice de absorción de agua (IAA) y el índice de solubilidad de agua (ISA) (Aguirre, 2013).

➤ Extrusores en frío

En este tipo de equipo el alimento se extruye en líneas sin cocción, con objeto de que la materia prima se someta a la mínima fricción posible, los tornillos de estos extrusores poseen unas alas muy profundas y ruedan a bajas velocidades dentro de un cilindro de superficie interna lisa. (Aguirre, 2013).

La extrusión en frío es utilizado para elaborar formas específicas de extruido. En este proceso, el extruido se bombea a través de un troquel sin la adición de energía

térmica externa. En general se usa para mezclar, amasar, dispersar, texturizar, disolver y formar un insumo o producto. Los productos alimenticios típicos incluyen masa de hojaldre, dulces, pastas, embutidos y alimentos para mascotas. Estos tipos de extrusoras se considerarían sistemas de bajo cizallamiento y crearían presiones relativamente bajas (Singh & Heldman, 2014).

➤ Extrusores de tornillo simple

Este tipo de equipo tiene un único tornillo que gira en un barril metálico a altas velocidades para aumentar el cizallamiento e inducir el calentamiento del producto, el paso del material es constante. Los tornillos individuales suelen consistir en tres secciones: alimentación, transición o compresión, y dosificación. Las materias primas se alimentan en forma granular en una tolva situada en la primera sección. La acción de rotación del tornillo transmite el material a la sección de transición, donde el canal del tornillo se hace más bajo y el material se compacta, la energía mecánica se disipa en esta sección, lo que da lugar a un aumento de la temperatura del material. El almidón se gelatiniza y el material se vuelve más cohesivo. Es transportado además por la sección de medición y empujado a través de la abertura del troquel. Los barriles de extrusores de un solo husillo tienen generalmente ranuras helicoidales o axiales en las superficies internas. Esto ayuda a transportar y mezclar el material más eficazmente (Karve, 2010; Lević et al., 2010).

➤ Extrusores de tornillo doble

El tornillo gemelo consiste en dos tornillos paralelos que giran dentro de un cilindro en forma de ocho. Existe una relación longitud/diámetro entre el cilindro y tornillos. Los extrusores se clasifican de acuerdo a la dirección de rotación y a la forma en que los tornillos se entrelazan. Los tornillos rotan conjuntamente, donde las aletas de uno arrastran el alimento del otro, se usan habitualmente en operaciones con alimentos (Fellows, 2000).

2.8.4 VENTAJAS DE UN EXTRUSOR DE DOBLE TORNILLO SOBRE UNO DE UN SOLO TORNILLO

- ❖ Manipula material viscoso, aceitoso, pegajoso o muy húmedo y algunos otros productos, que se deslizarán en extrusoras de un solo tornillo. (Es posible agregar hasta 25% de grasa en una extrusora de doble husillo).
- ❖ Menos desgaste en la parte más pequeña de la máquina que en la extrusora de un solo tornillo.
- ❖ Se puede usar un amplio rango de tamaño de partícula (de polvo fino a granos), mientras que el tornillo simple se limita a un rango específico de tamaño de partícula.
- ❖ Debido a las características de auto limpieza, la limpieza es muy fácil.

(Lević et al., 2010)

2.8.5 PROCESO DE EXTRUSIÓN

La extrusión se lleva a cabo en un aparato generador de presión, el cual causa que el producto se mueva como un fluido líquido en un flujo laminar a través de una resistencia. Estos dos componentes flujo y resistencia determinan el proceso y el tipo de producto que se realiza. El uso de tornillos es más importante ya que movilizan el producto hacia adelante, ayudando a la generación y transferencia de calor, texturización y homogeneización. El producto que se encuentra en el canal del tornillo rotatorio es cortado, la razón del corte es directamente proporcional a la velocidad y el diámetro del tornillo e inversamente proporcional a la profundidad del canal. El corte hace que un producto se estire, acelerando la gelatinización de almidones y otras reacciones. Cuando se utilizan para cocción los extrusores deben generar calor hacia el producto. Esto puede ser obtenido en varias formas: por conversión de energía mecánica (rotación del tornillo), aplicación de calor externo y por inyección de vapor. Los productos alimenticios obtenidos por extrusión son muy viscosos ya que resisten el corte generado por las fuerzas de fricción (Torres & Pérez, 2006).

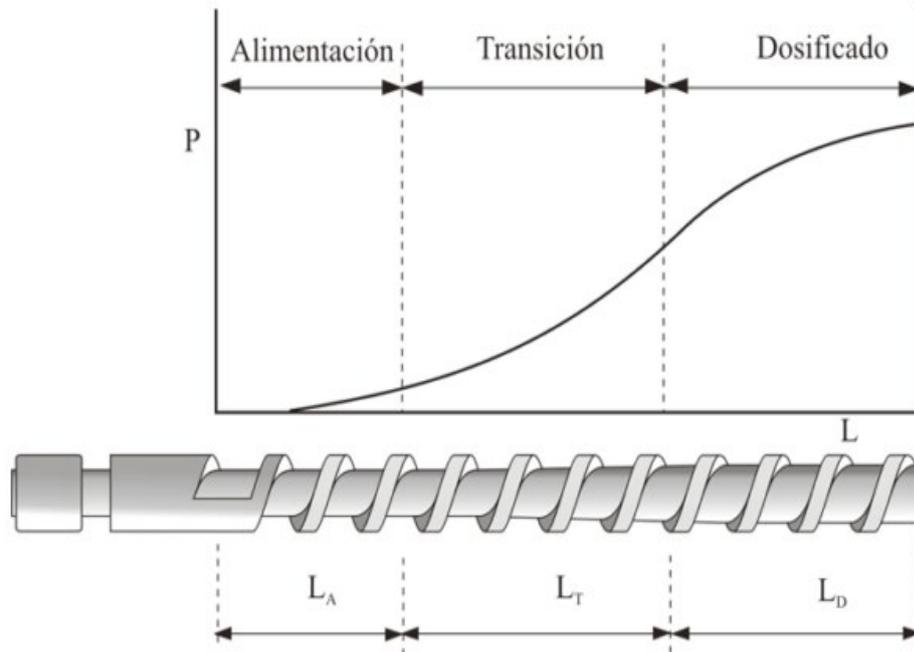


Figura 2. Zona de las etapas de extrusión y evolución de la presión

(Blanco, 2012)

2.8.6 PARÁMETROS DEL PROCESO

En el proceso de extrusión, la formulación de la mezcla y sus componentes se someten a una sucesión de operaciones unitarias continuas con varios parámetros que incluyen: perfiles de humedad y temperatura, configuración del extrusor, velocidad del tornillo y pre-acondicionamiento del material antes del proceso (Lević et al., 2010).

Los parámetros más críticos del proceso podrían resumirse en cuatro áreas:

- Energía mecánica
- Energía térmica
- Tiempo de retención
- Niveles de humedad

2.8.7 FACTORES QUE INFLUYEN EN EL PROCESO DE EXTRUSIÓN

❖ Grado de cocción

Este factor incrementa al aumentar la temperatura y la relación de compresión del tornillo y al disminuir tanto el diámetro de la boquilla como la humedad.

Un aumento de velocidad de rotación (rpm) se traduce en un menor tiempo de residencia y por lo tanto un menor grado de cocción, pero cuando la gradiente de velocidad incrementa, la intensidad de los esfuerzos de corte producidos es mayor. Otro aspecto a destacar es que la temperatura es considerada una variable independiente (González & Torres, 2002).

❖ Propiedades de la masa

Cuando la masa fluye dentro del extrusor, sus características finales dependen de su composición inicial tales como: humedad, materia grasa, fibra, almidón, proteína, minerales, sales, emulsionantes y del diseño particular que provoca mayor o menor interacción partícula-partícula. (González & Torres, 2002).

❖ Temperatura

La temperatura de operación va desde 99°C a 200°C, según el tipo de extrusor. Los extrusores con menor capacidad de alimentación, tienen relación directa con la temperatura del producto. Por otra parte los extrusores de gran capacidad pueden ser inversos, pues al calentar la pared, disminuye la viscosidad de la masa, el esfuerzo cortante y la capacidad de bombeo del tornillo, en tanto que la conducción de calor al interior de la masa es muy pequeña por la presencia de flujos laminares (Huber, 2010).

Sin embargo la temperatura debe ser alta para provocar una expansión explosiva, estas temperaturas se logran utilizando la fuerza de cizalla. El calentamiento del cilindro sirve para controlar la expansión. Así mismo la temperatura del dado o matriz es de gran importancia para el desarrollo de la textura y el grado de expansión (Torres & Pérez, 2006).

Además este parámetro está directamente relacionado con la densidad aparente ya que esta decrecerá con el incremento de la temperatura de extrusión debido a la

gelatinización del almidón. Al aumentar la gelatinización, incrementa el índice de expansión y la densidad disminuye (Ding, Ainsworth, Plonkell, Tucker, & Marson, 2005).

❖ Contenido de humedad

La extrusión en caliente es una forma especializada y única en el procesado de materiales amiláceos debido a que se trata de una cocción a niveles de humedad relativamente bajos. Los intervalos de humedad utilizados son del 10% al 40%, a pesar de estos bajos valores, el material se transforma en un fluido (Túpaca, 2012).

Sin embargo el agua es un factor que afecta todo, por lo que debe ser perfectamente controlado. Este decir que este insumo debe añadirse al proceso de forma uniforme tan pronto como sea posible. (Torres & Pérez, 2006)

Por otro lado el agua necesaria para la cocción de la mezcla proviene de la materia prima y de los ajustes de humedad que se realicen dentro de la sección de alimentación; el contenido total de humedad dentro del extrusor está en un intervalo de 16% - 20%. El porcentaje de humedad en la masa afecta significativamente la viscosidad aparente, la expansión y la resistencia a la rotura del producto extruido. El mayor contenido de humedad y las altas temperaturas provocan la gelatinización del almidón y aumenta la viscosidad del producto. Además se alcanza índices de absorción y de solubilidad de agua a niveles más bajos de humedad, hecho que se atribuye a la modificación del almidón. (Guy, 2002)

No obstante el aumento del contenido de humedad de una mezcla da como resultado extruidos con una mayor densidad, menor expansión, mayor índice de absorción (IAA), menor índice de solubilidad (ISA), mayor dureza y menor consistencia crujiente (Ding et al., 2005).

❖ Velocidad de tornillo

Es un factor primordial, ya que afecta el tiempo de residencia del producto, la cantidad de calor generado por fricción, las velocidades de transmisión de calor y las fuerzas de cizalla en el producto. El incremento en la velocidad del tornillo causa también un incremento en la relación de expansión para extruidos. (Martínez, 2012).

❖ Presión

Las presiones altas generan pérdida de agua por vaporización, obteniendo un producto con baja actividad de agua, por lo tanto, más tiempo de vida útil. Por el contrario, si se trabaja con baja presión, el producto que sale de la matriz será de alto contenido en humedad y alta densidad, sin embargo estos productos necesitarán procesos posteriores tales como el secado. (Huber, 2010)

Para inflar el producto se requiere de algún tipo de vapor normalmente es vapor generado dentro del producto debido al calor (pre-acondicionamiento), sin embargo, también puede lograrse con otros gases. Los niveles de presión dependen de la viscosidad la cual por lo general es alta cuando se trata de expansión directa (Torres & Pérez, 2006).

❖ Diámetro de la matriz

La matriz es un componente principal del extrusor, ya que permite una rápida expansión "hinchazón" de la masa del producto. Cuando la masa sale del troquel, la temperatura y la presión caen abruptamente y el producto se expande. Una comprensión adecuada de las propiedades del material y la naturaleza del flujo en la matriz del extrusor son esenciales para controlar el rendimiento del extrusor y la masa de calidad del extruido en varias formas y tamaños dependiendo de la forma que tenga la matriz (Adekola, 2015).

A menor diámetro de orificio que tenga la matriz, incrementará el grado de expansión del producto; la humedad de la mezcla es importante para la crujencia o

textura, el incremento del contenido de proteína en la formulación de una mezcla reduce las posibilidades de un producto con una buena expansión (Cadena, 2010).

❖ Tiempo de residencia

Es importante definir el tiempo de residencia para las partículas de material que se encuentran en el extrusor. Sobre la base de esta distribución del tiempo, es posible establecer el grado de mezcla del material y anticipar el curso de la plastificación así como el grado de uniformidad en la deformación de la corriente de material líquido durante la extrusión. El tiempo de residencia es en gran parte el resultado de la distribución de las velocidades en el interior del dispositivo y la longitud del tornillo (Moscicki, 2011).

❖ Tamaño de la partícula

Depende del tipo de extrusor y del producto que se desea obtener. El tamaño óptimo de las partículas en la extrusión no es estándar, depende de la configuración del equipo y de la materia prima; por ello es necesario conocer el diseño del extrusor previo al acondicionamiento de las materias primas, ya que el tamaño de partícula del producto a extruir es relevante para el procesamiento y es preferible trabajar con tamaños gruesos (debido a que retrasan la gelatinización hasta justo antes de salir del dado), siendo no recomendable trabajar con harinas o partículas muy pequeñas ya que éstas se funden rápidamente y no favorecen el transporte del material al interior del extrusor (Túpaca, 2012).

El extrusor usado en la investigación, no permite trabajar con harinas muy finas debido a que causan problemas en la zona de alimentación, ni con partículas muy gruesas ya que posee un dado con abertura de salida de diámetro aproximado de 3 mm; partículas superiores a éste provocarían la obstrucción del mismo y retarda la gelatinización hasta antes de la descarga del dado de salida. Las partículas finas dan una pronta gelatinización y una baja viscosidad del fluido, propiedades que no son convenientes. Esto se corrige reduciendo la humedad para demorar la gelatinización (Túpaca, 2012).

2.8.8 RELACIÓN: HUMEDAD – TEMPERATURA DURANTE LA EXTRUSIÓN

La expansión de un producto extruido está inversamente ligada con la humedad de la materia prima y directamente relacionada con el incremento de la temperatura en la cámara de extrusión. La expansión aumenta cuando la temperatura supera los 100°C y el contenido de humedad del material está cerca del 20%, debido a una viscosidad baja, lo que permite una expansión más rápida de la masa fundida, o debido. A bajas temperaturas de extrusión, la expansión se reduce porque el almidón no es completamente fundido (Ramachandra & Thejaswini, 2015).

2.8.9 CAMBIOS DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DURANTE LA EXTRUSIÓN

Las materias primas más utilizados en el proceso de extrusión son materiales que contienen básicamente almidón y proteínas. La estructura de los productos extruidos se puede formar a partir de polímeros de almidón o proteína. La mayoría de los productos, tales como cereales para el desayuno, aperitivos y galletas se forman a partir de almidón, mientras que la proteína se utiliza para elaborar productos altamente nutritivos ya sea con sustituciones totales o parciales de proteína (Ramachandra & Thejaswini, 2015).

❖ Carbohidratos

En la extrusión los carbohidratos sufren reacciones críticas para la calidad nutricional y sensorial del producto final, uno de estos cambios es la gelatinización del almidón ya que lo vuelve resistente y a la vez más digerible durante este proceso, ya que la extrusión sirve como medio para que se produzca este favorable cambio, que es de gran interés para los que desarrollan productos alimenticios, no solo debido a su potencial para reducir el valor calórico, sino también para la salud digestiva y otros beneficios (Maskan & Altan, 2011).

El contenido mínimo de almidón que debe tener una mezcla es del 60-70% para conseguir una buena expansión, por ende al aumentar el contenido de almidón se obtiene un producto de una densidad aparente más ligera mejorando también su nivel de expansión. Así mismo se ha sugerido que un alto contenido de amilopectina

conduce a la obtención de texturas expandidas homogéneas y elásticas, mientras que altos contenidos de amilosa conducen a extrudidos duros y menos expandidos. A un mismo contenido de humedad, los almidones ricos en amilopectina son más blandos que los almidones ricos en amilosa, lo que favorece la expansión. Los gránulos de almidón absorben agua y se hinchan cuando se someten a temperaturas de gelatinización (60-75) °C. Cuando se someten al calor en presencia de agua los gránulos de almidón finalmente alcanzan un punto donde la hinchazón es irreversible y la estructura cristalina nativa se vuelve amorfa y el almidón total más soluble (Lezcano & Cuggino, 2002).

El almidón se presenta como amilosa y amilopectina. La amilopectina promueve el inflado y la amilosa ofrece una textura quebradiza. El almidón es insoluble en agua fría pero cuando está en contacto con agua caliente absorbe, se hincha y revienta; este fenómeno es denominado gelatinización. Para tener un producto inflado y quebradizo es conveniente tener de 5 a 20% de amilosa. Las cantidades relativas de amilosa y amilopectina influyen directamente en la expansión. La amilosa ocasiona una mayor expansión lineal en tanto que la amilopectina lo hace más forma radial. El nivel óptimo de humedad para la cocción (gelatinización) del almidón es aproximadamente 27% y lleva a la obtención de un producto seco con máxima absorción de agua. Aunque algunos cereales pueden extraerse a niveles de humedad de tan solo 8 a 10% (Torres & Pérez, 2006).

❖ **Proteínas**

A medida que aumenta el nivel de proteína en una formulación, hay cambios en la expansión, la textura y la durabilidad del producto. Los niveles de proteína más altos usualmente dan como resultado una menor expansión ya que la proteína es menos visco-elástica que el almidón. El aumento de los niveles de proteína también da como resultado texturas más firmes o más duras en comparación con los productos que contienen almidón. En general, los productos elaborados con mezclas de alto nivel de proteína tendrán menos durabilidad, más fragilidad y generarán polvo fino durante la manipulación y el transporte (Mian & Galen, 2012).

La influencia de las proteínas en el rendimiento del extrusor es inconsistente y es probable que dependa de su índice de absorción de agua (IAA), y su impacto en las características de viscosidad del material. Generalmente, las proteínas de cereales y leguminosas no son tan buenas como el almidón de maíz cuando se trata de formar una estructura porosa altamente expandida. Por lo tanto, aumentar su concentración a expensas del almidón generalmente aumenta la densidad del producto expandido (Maskan & Altan, 2011).

❖ **Grasas**

Cuando la grasa está libre (sin que funcione complejo con otros ingredientes), actúa como lubricante, reduciendo la fricción entre las partículas de la mezcla y entre los componentes internos del extrusor. Cuanto menor sea la fricción, menor será la entrada de energía mecánica requerida, lo que dará como resultado una menor expansión (mayores densidades aparentes del producto). Es por esta razón, que es importante controlar el nivel de grasas, en algunos casos una pequeña variación de grasa puede afectar drásticamente el producto. La grasa también puede debilitar la estructura celular, causando fusión y porosidad. Cuando los niveles de adición alcanzan el rango de 7-12%, la densidad del producto comienza a aumentar incluso cuando se realizan esfuerzos para mantener la densidad aparente. Cuando los niveles de adición de grasa son del 12-17%, el producto puede tener poca o ninguna expansión, pero conservará algo de durabilidad. En niveles que superan el 17%, la durabilidad puede verse afectada significativamente (Torres & Pérez, 2009; Mian & Galen, 2012).

❖ **Fibra**

En la extrusión es recomendable que la adición de la fibra no sea superior al 5%, para que el impacto en este proceso sea el menor posible. Esto es especialmente cierto si el tamaño de partícula en los ingredientes es menos de 400 μm . En general parece que un tamaño de partícula más pequeño tiene un efecto menos perjudicial sobre la expansión ya que un tamaño de menos de 50 μm da como resultado una estructura celular fina en el producto extruido ya que las partículas de fibra

insoluble pueden servir como sitios de nucleación para el desarrollo celular (Mian & Galen, 2012).

McCleary (2007) desarrolló un procedimiento para medir estos compuestos, pero la estimación de los cambios en la fibra durante la extrusión son desafiantes, ya que, estas moléculas interactúan con otros componentes, uno de ellos es el almidón que durante este proceso se vuelve resistente.

❖ **Azúcares**

Los azúcares, se licúan y actúan como lubricantes, reduciendo la conversión mecánica de energía y grado de expansión del producto extruido. También los porcentajes altos de azúcar en el proceso de extrusión requieren de mayor tiempo de residencia para su cocción. Cuando los niveles son altos, la reducción de la actividad del agua en el extrusor de tornillo sin fin puede ocasionar un incremento en la viscosidad. El azúcar, generalmente, coadyuva a crear una estructura celular más suave y más fina (Torres & Pérez, 2006).

❖ **Vitaminas**

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

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

Las vitaminas hidrosolubles, como la vitamina C o del grupo B, pueden perder estabilidad durante la extrusión. La extrusión húmeda produce una pérdida de vitamina C y tiamina. (Valls, 2013).

Tabla 13. Retención de la actividad de las vitaminas en condiciones típicas de extrusión

Vitaminas	% Retención
A	80-88
D	Estable
E	85
Riboflavina	74-100
Pantotenato	90
Niacina	80
Colina	Estable
Biotina	90
Tiamina	88
Ácido ascórbico y polifosfatos	96-100

Fuente: (Mian & Galen, 2012)

❖ **Minerales**

Mian & Galen, (2012) mencionan que la extrusión usualmente tiene poco impacto sobre los minerales ya que son bastante inertes. El proceso de extrusión puede reducir el tamaño de las partículas minerales e incrustar los minerales en toda la matriz del producto debido a las fuerzas dispersantes y distributivas de mezcla. Los minerales, por otro lado, pueden acelerar el desgaste de los componentes del extrusor debido a su abrasividad.

2.8.10 PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS QUE INFLUYEN EN LA EXTRUSIÓN

Las pérdidas por extrusión, varían en función del tipo de alimento, el contenido en agua, el tiempo y la temperatura de tratamiento. Las moléculas de almidón se rompen en moléculas más pequeñas lo que las hace más digeribles. Este proceso además aumenta la digestibilidad de proteínas por desnaturalización, aunque se producen pérdidas de aminoácidos como la lisina. Existe una bajo porcentaje de pérdidas de lípidos mientras que los minerales se retienen. (Da-Wen, 2005).

Los tratamientos térmicos tienen un efecto conservador debido a la desnaturalización de las proteínas, ya que destruye la actividad enzimática y metabólica de los microorganismos. Cuando en un proceso se trabaja a elevadas

temperaturas, un tiempo de larga la duración del tratamiento, mayor es el efecto destructor sobre microorganismos y enzimas. Aunque la exposición a altas temperaturas durante tiempos cortos equivale, en cuanto a efecto inhibitor sobre microorganismos y enzimas, a tratamientos con temperaturas más bajas durante tiempos largos, el efecto destructivo sobre las propiedades nutricionales y organolépticas es menor para aquellos tratamientos realizados a bajas temperaturas (Henry & Chapman, 2002).

El cambio las propiedades organolépticas del alimento viene dado por el tipo de extrusión que se lleva a cabo. Aplicando altas temperaturas, el producto perderá más cantidad de agua, con lo que se obtendrán productos con menor humedad, y por lo tanto, con más vida útil. Por el contrario, trabajando en frío se obtendrán productos con más actividad de agua pero con una menor pérdida de cualidades (Túpaca, 2012).

2.8.11 CAMBIOS SOBRE LA CALIDAD NUTRICIONAL DE LOS PRODUCTOS EXTRUIDOS

Los efectos de la cocción por extrusión sobre la calidad nutricional son ambiguos. Los beneficios incluyen la destrucción de factores anti nutricionales, gelatinización de almidón, aumento de fibra dietética soluble y reducción de la oxidación de lípidos. La digestibilidad del almidón depende en gran medida de la gelatinización completa. La alta digestibilidad del almidón es esencial para los alimentos nutricionales especializados, como los alimentos para lactantes y destete. La creación del almidón resistente por extrusión puede tener valor en productos de calorías reducidas. El valor nutricional de las proteínas vegetales se mejora generalmente mediante condiciones de cocción por extrusión, debido al aumento de la digestibilidad, probablemente como resultado de la desnaturalización de las proteínas y la inactivación de los inhibidores enzimáticos presentes en las materias primas mediante la exposición de nuevos sitios activos para el ataque enzimático. (Ramachandra & Thejaswini, 2015)

❖ **Desnaturalización de las proteínas**

Las proteínas son biopolímeros con un gran número de grupos químicos cuando se comparan con polisacáridos y por lo tanto son más reactivos y sufren muchos cambios durante el proceso de extrusión, siendo el más importante la desnaturalización. Durante la extrusión, los enlaces disulfuro se rompen y pueden volver a formarse. Las interacciones electrostáticas e hidrófobas favorecen la formación de agregados insolubles. La creación de nuevos enlaces peptídicos durante la extrusión es controvertida. Las proteínas de alto peso molecular pueden disociarse en subunidades más pequeñas. Las enzimas, también las proteínas, pierden su actividad después de ser sometidas al proceso de extrusión debido a las altas temperaturas y el cizallamiento. (Ramachandra & Thejaswini, 2015)

❖ **Gelatinización del almidón**

Durante el proceso de extrusión en la industria de alimentos, el almidón sufre cambios estructurales como resultado de los procesos de gelatinización, fusión y fragmentación. Estos cambios en el gránulo de almidón afectan significativamente la viscosidad de la masa fundida. (Sandoval, Farhat, & Fernández, 2007)

Los factores que afectan a la gelatinización son los lípidos, el ratio amilasa: amilopectina, el contenido de humedad, el procesado, la velocidad de avance de la rosca del extrusor y el tamaño de partícula. Se considera que la estructura del almidón tiene un gran efecto sobre la tasa de digestión del almidón en los cereales, y por lo tanto, es un factor importante a tener en cuenta para optimizar la calidad del almidón. (Khalek & Janssens, 2010)

2.8.12 VENTAJAS EN EL PROCESO DE EXTRUSIÓN

- ❖ Obtención de una gran variedad de productos alimenticios mediante el cambio de un ingrediente menor y/o de condiciones de proceso en la máquina.
- ❖ Diferentes formas, texturas, colores y apariencias obtenidas mediante cambios de poca importancia en el equipo y en las condiciones de proceso.
- ❖ Procesado energéticamente eficiente, y a menudo a menor coste comparado con otras opciones.

- ❖ Disponibilidad de automatización que pueden aumentar la productividad.
- ❖ Mejoramiento de la calidad del producto debido a que la cocción se realiza en un tiempo corto y tiene lugar una menor destrucción de los ingredientes sensibles al calor.

(Guy, 2002)

2.9 EFECTOS DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS DE PRODUCTO EXTRUIDO

2.9.1 PROPIEDADES FUNCIONALES

- ❖ Expansión

Esta propiedad es una de las características más importantes en la elaboración de productos extruidos. La expansión y la textura son complejas que dependen de las propiedades visco-elásticas de la masa fundida, del mecanismo de nucleación y crecimiento de las burbujas, así como de las propiedades plastificantes del almidón en la transición de fluidos (fundidos) a viscoelásticos y, posteriormente, a un estado vítreo, que son todos importante para la expansión y la textura final de los productos extruidos. Aunque la caída de presión en el dado no es directamente responsable de la expansión, causa la nucleación de las burbujas. Esta diferencia de presión entre la presión de vapor del agua dentro de las burbujas nucleadas y la presión de la fusión impulsa la expansión. Se sabe que la temperatura de extrusión juega un papel importante en el cambio de propiedades reológicas de los fundidos extruidos. El grado de expansión depende del tamaño, número y distribución de las celdas de aire dentro de los extruidos y esto se logra con la plasticidad y elasticidad adecuadas de la masa ya que estas pueden formar bolsas de aire bien expandidas sin rupturas durante el proceso. (Maskan & Altan, 2011).

Ainsworth et al. (2007) observaron una disminución en la expansión a niveles en el que se adicionaba granos con composiciones nutricionales que reducían el contenido de almidón en la formulación de la mezcla total.

En la extrusión la temperatura de proceso juega un papel importante en el cambio de propiedades reológicas de los productos extruidos, que a su vez beneficia o afecta el volumen de expansión. (Moraru & Kokini, 2003).

Maskan & Altan, (2011) encontraron que el aumento en la expansión del almidón con la temperatura se atribuyó a su mayor grado de gelatinización, mientras que la reducción en la expansión se atribuyó a la degradación molecular ya que después de una temperatura crítica, que depende del tipo de almidón y del contenido de humedad, la expansión disminuyó.

Las proteínas pueden afectar la distribución del agua en la matriz y cambiar su estructura y conformación macromolecular durante la extrusión, por ejemplo, la desnaturalización, disociación y alineación de las moléculas de proteína desnaturalizadas en la dirección del flujo afectan las propiedades de extensión de las masas fundidas extruidas (Moraru & Kokini, 2003).

❖ Densidad Aparente

La densidad aparente del producto está directamente relacionada con el grado de expansión del extruido y es un parámetro muy importante en la producción de productos alimenticios expandidos (Maskan & Altan, 2011).

Esta propiedad es un parámetro muy importante la característica de los productos extruidos, en forma indirecta se correlaciona con propiedades estructurales (forma y tamaño de las células de aire, estructura fibrosa) y sensoriales. Además refleja el comportamiento del equipo y las condiciones de trabajo como humedad, presión y temperatura. Es indicativo del volumen del producto final o expansión (Revelo, 2010).

La densidad del producto no necesariamente define las características finales del mismo. Ya que se ha encontrado que productos con un mismo valor de densidad, poseen estructuras celulares muy diferentes, dependiendo de las variables de extrusión y de la composición nutricional con la que el producto cuenta (Babin, Del Valle, Dendievel, Lourdin, & Salvo, 2007).

Una investigación realizada por Valenzuela (2017) ha reportado que la densidad aparente es inversamente proporcional al índice de expansión y que esta respuesta es afectada por la formulación de ingredientes, la temperatura, la humedad y velocidad de tornillo del extrusor.

❖ Índice de Absorción del agua IAA

La absorción de agua depende de la disponibilidad de grupos hidrofílicos que se unen a las moléculas de agua y de la capacidad de formación de gel de las macromoléculas. Los índices de absorción de agua y solubilidad se utilizan para estimar las características funcionales de los extrudados desarrollados a partir de subproductos (Maskan & Altan, 2011).

El índice de solubilidad de agua de muchos productos elaborados a base de almidón aumenta al incrementar la temperatura en el cilindro del extrusor. El valor máximo se obtiene en el rango de temperatura de 180-200 °C (Moscicki, 2011). Los cambios en el IAA se atribuyeron principalmente a la temperatura en la cámara de extrusión y al alto contenido de humedad ya que favorecen la mezcla dentro del equipo, aumentando así la hinchazón de los gránulos y gelatinización del almidón lo que favorece la capacidad de absorción de agua del almidón y la vez aumenta la viscosidad del mismo (Wang, Maximiuk, & Toews, 2012).

❖ Índice de Solubilidad de Agua ISA

El índice de solubilidad de agua es una medida del proceso de dextrinización y se caracteriza por un aumento en la solubilidad al agua fría y por obtención de un producto pegajoso cuando se humidifica, es recomendable cuando se elaboran alimentos de consistencia rígida y quebradiza; sin embargo la gelatinización es preferible cuando se desea la absorción y retención de humedad, con un mínimo de pegajosidad (Salas, 2003; Justo & Pérez, 2006).

La solubilidad de agua brinda información sobre la degradación del almidón, mientras que la absorción de agua está más relacionada con la capacidad de hinchamiento de los gránulos (Maskan & Altan, 2011). Cuanto menor contenido de humedad tenga la formulación de la mezcla inicial utilizada en el proceso mayor será el ISA en el producto final. Una influencia muy notable en las propiedades del producto es el porcentaje de amilosa y amilopectina (Moscicki, 2011).

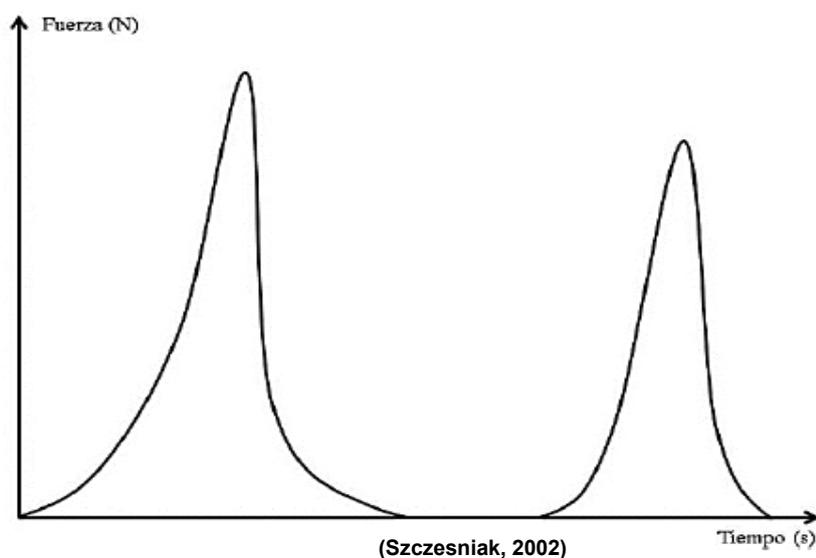
2.9.2 PROPIEDADES DE TEXTURA INSTRUMENTAL

La textura es uno de los atributos de calidad más importante y utilizada en la industria alimentaria, tanto en alimentos frescos como procesados, para evaluar la aceptabilidad y la calidad. Los factores constituyentes de la textura pueden ser evaluados por análisis descriptivos sensoriales o instrumentales. Por otro lado, la combinación del tiempo y el alto costo asociado con la percepción sensorial ha motivado al desarrollo y al uso generalizado de ensayos mecánicos empíricos que se correlacionan con las percepciones sensoriales (Torres, González-Morelo, & Acevedo, 2015).

❖ Análisis de Perfil de Textura

Es utilizado para medir, cuantificar y desarrollar mediciones relacionados con la textura, aunque la magnitud de estos parámetros será influenciada por las variables introducidas en las mediciones como la tasa de deformación; que es el coeficiente que expresa el cambio del tamaño de un cuerpo debido a las fuerzas aplicadas sobre el mismo; para que ellas brinden información objetiva que se pueda comparar bajo condiciones estandarizadas (Singh et al., 2013).

Figura 3. Curva típica del análisis de perfil de textura



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

Tabla 14. Parámetros de Análisis de Textura

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

Fuente: (Torres et al., 2015)

❖ Dureza

La propiedad de la textura de un producto se determina midiendo la fuerza requerida para romper el alimento. La fuerza pico máxima obtenida de un analizador de textura proporciona la dureza del producto. La incorporación de cualquier tipo de subproducto alimentario en los productos cambia la textura de los extruidos (Stojceska, Ainsworth, & Ibanoglu, 2008).

❖ Crujencia

Este atributo se asocia con una estructura celular de baja densidad que es frágil y está muy extendida en el ruido agudo cuando se fractura el producto extruido (Maskan & Altan, 2011).

❖ Fragilidad

La distancia necesaria para romper los extrudados se midió como fragilidad y se evaluó como el intervalo más corto siendo el producto más frágil (Maskan & Altan, 2011).

2.9.3 PROPIEDADES SENSORIALES

Las materias primas que forman parte del proceso de extrusión se someten a modificaciones físicas y químicas tales como la gelatinización, la descomposición del almidón, la desnaturalización de las proteínas y las interacciones entre ellas como resultado de altas temperaturas y presiones con un efecto de cizallamiento combinado durante la extrusión. Estos cambios afectan las propiedades sensoriales, como la apariencia, el aroma, el sabor y la textura de los productos extruidos. Por lo tanto, las propiedades sensoriales son importantes para los productos alimenticios extruidos que se desarrollan como nuevas marcas. Tanto el análisis sensorial descriptivo como la escala hedónica se han utilizado para evaluar las propiedades sensoriales de los alimentos extruidos producidos con diferentes materias primas (Maskan & Altan, 2011).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

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

Los resultados obtenidos fueron analizados en el laboratorio de análisis físico-químico 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:

- ❖ Gritz de maíz *Zea mays*
- ❖ Gritz de fréjol *Phaseolus vulgaris*
- ❖ Gritz de camote *Ipomoea batatas*

3.2.2 EQUIPOS

- ❖ Extrusor de simple tornillo
- ❖ Deshidratador de bandejas
- ❖ Molino
- ❖ Estufa
- ❖ Mufla

- ❖ Desecador
- ❖ Espectrofotómetro
- ❖ Centrífuga
- ❖ Baño María
- ❖ Texturómetro
- ❖ Termómetro
- ❖ Balanza analítica
- ❖ Balanza infrarroja

3.2.3 MATERIALES

- ❖ Recipientes plásticos
- ❖ Rebanadora
- ❖ Bandejas de acero inoxidable
- ❖ Bandejas plásticas
- ❖ Tamiz # 10 (2.8mm)
- ❖ Probetas
- ❖ Tubos de ensayo
- ❖ Embudos de vidrio
- ❖ Vasos de precipitación
- ❖ Cajas Petri
- ❖ Crisoles
- ❖ Agitadores magnéticos
- ❖ Mortero y pistilo
- ❖ Selladora
- ❖ Calibrador analítico Pie de Rey
- ❖ Papel filtro

3.3 METODOLOGÍA

3.3.1 FACTORES EN ESTUDIO

La investigación propuesta consideró los siguientes factores de estudio (Tabla 15):

Tabla 15. Factores de estudio

FACTOR A	Formulación de la mezcla a1: Maíz 70% + Fréjol 15% + Camote 15% a2: Maíz 80% + Fréjol 10% + Camote 10%
FACTOR B	Humedad de la mezcla b1: 15% b2: 20%
FACTOR C	Temperatura de extrusión c1: 110°C c2: 140°C
Factores constantes	Alimentación: 3 kg Diámetro de la boquilla : 2,5 mm Velocidad del tornillo: 300 rpm

3.3.2 TRATAMIENTOS

Tabla 16. Nomenclatura de los tratamientos

TRATAMIENTOS	FACTOR A Formulación 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

Para dicho estudio se empleó un Diseño Experimental Completamente al Azar con un arreglo factorial $A \times B \times C + 1$. Con ocho tratamientos más un testigo, con tres repeticiones para cada uno, dando un total de 27 unidades experimentales.

3.3.4 CARACTERÍSTICAS DEL EXPERIMENTO

- ❖ Número de repeticiones por tratamiento tres (3)
- ❖ Número de tratamientos nueve (9)
- ❖ Unidades experimentales veintisiete (27)

El experimento se conformó de 27 unidades experimentales, cada una pesó 3 kg (mezcla de griz de maíz, fréjol y camote), para la obtención de los snacks extruidos.

3.3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En la Tabla 17 se muestra el Análisis de Varianza de los tratamientos, factores e interacciones de la presente investigación.

Tabla 17. DCA $A \times B \times C + 1$

Fuentes de variación	G.L
Total	26
Tratamientos	8
Factor A (Formulación de la mezcla)	1
Factor B (Humedad de la mezcla)	1
Factor C (Temperatura de la cámara de extrusión)	1
A x B	1
A x C	1
B x C	1
A x B x C	1
Testigo vs otros	1
Error experimental	18

3.3.6 ANÁLISIS FUNCIONAL

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

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

3.4 VARIABLES EVALUADAS

3.4.1 ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE LA MATERIA PRIMA

En la Tabla 18 se observa los diferentes parámetros realizados a las materias primas.

Tabla 18. Métodos analizados en los griz de maíz, fréjol y camote

Parámetros	Método
Humedad	AOAC 930.15
Cenizas	AOAC 923.03
Proteína	AOAC 955.39
Extracto etéreo	AOAC 920.85
Fibra bruta	AOAC 978.10
Carbohidratos	Cálculo
Almidón	IRAM 15859
Amilosa	MO-LSAIA-04
Amilopectina	Cálculo

❖ Humedad

Método 930.15, A.O.A.C.

Fundamento

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

Procedimiento

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

Cálculo

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

Donde:

P_c = Peso del recipiente

P_{cmh} = Peso del recipiente más muestra húmeda

P_{cms} = Peso del recipiente más muestra seca

❖ Cenizas

Método 923.03, A.O.A.C.

Fundamento

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

Procedimiento

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

Cálculo

$$\% \text{ Ceniza} = \frac{P_{CZ} - P_C}{P_m} \times 100' \quad (2)$$

Donde:

P_{CZ} = Peso del crisol más ceniza

P_C = Peso del crisol

P_m = Peso de la muestra

❖ Proteína

Método 955.39. A.O.A.C.

Fundamento

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

Procedimiento

Digestión

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

Destilación

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

Titulación

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

Cálculos

$$N\% = \frac{mlH^2SO^4 * N H^2SO^4 * meqN}{g} \times 100 \quad (3)$$

Donde:

N%: porcentaje de Nitrógeno

ml H₂SO₄: mililitros de ácido sulfúrico

N H₂SO₄: normalidad de ácido sulfúrico

g: gramos de muestra

$$\text{Proteína \%} = \%N \times 6,25 \quad (4)$$

N% = Contenido de nitrógeno

❖ Extracto etéreo

Método 920.39C, A.O.A.C.

Fundamento

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

Procedimiento

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

- Secar el vaso de destilación con el residuo en una estufa a 105° C por 7 horas retirarlos de la estufa en un desecador, se enfría y se pesa.

Cálculo

$$\text{Extracto Etéreo \%} = \frac{P_{vr} - P_v}{P_m} \times 100 \quad (5)$$

Donde:

EE = Extracto etéreo (%)

Pv = Peso del vaso tarado

Pvr = Peso del vaso más residuo

Pm = Peso de la muestra

❖ Fibra bruta

Método 978.10, A.O.A.C.

Fundamento

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

Procedimiento

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

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

Cálculo

$$\% \text{ Fibra} = \frac{A-B}{C} \times 100 \quad (6)$$

Donde:

A = Peso del crisol con el residuo seco

B = Peso del crisol con la ceniza

C = Peso de la muestra

❖ Carbohidratos

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

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

❖ Almidón

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

Fundamento

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

Procedimiento

- Secar la muestra a 65°C durante un periodo de tiempo de 7 horas en la estufa, molerla y pesar 2.5 gr en un balón aforado de 50 ml.
- Agregar 25 ml de ácido clorhídrico 0.31 N y agitar por 15 min.
- Llevar a baño de agua hirviendo durante 15 min, con agitación continua y enfriar.

- Adicional 0.5 ml de ferrocianuro de potasio y 0.5 ml de sulfato de zinc, agitando el balón, hasta obtener una solución transparente y cristalina.
- Aforar el balón con agua destilada, centrifugar y filtrar.
- Llenar el tubo de 200 ml con el filtrado y leer en el polarímetro.

Cálculo

$$\% \text{ Almidón} = (a - b) f \quad (8)$$

Donde:

a = ángulo de rotación de la muestra, en grados

b = ángulo de rotación del blanco, en grados

f = factor del almidón

❖ Amilosa

Fundamento

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

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

Procedimiento

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

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

❖ **Amilopectina**

El contenido de amilopectina se obtiene aplicando la siguiente ecuación.

$$\% \text{ Amilopectina} = \% \text{ Almidón} - \% \text{ Amilosa} \quad (9)$$

3.4.2 ANÁLISIS EVALUADOS AL PRODUCTO TERMINADO

En el producto extruido se determinaron variables cuantitativas tales como: físico-químicas, funcionales e instrumentales detalladas en las tablas 19, 20 y 21.

➤ **Análisis de Propiedades físico-químicas**

Tabla 19. Métodos analizados al producto extruido

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

➤ **Análisis de Propiedades Funcionales**

Tabla 20. Propiedades funcionales del producto extruido

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

❖ **Índice de expansión**

Controla la relación existente entre la densidad aparente y la expansión del producto extruido.

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

Cálculo

$$IE = \frac{\text{Área transversal del extruido}}{\text{diámetro de la boquilla}} \text{ mm} \quad (10)$$

❖ Densidad aparente

Fundamento

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

Cálculo

$$DA = \frac{\text{Peso muestra}}{\pi \left(\frac{\text{diámetro muestra}}{2} \right)^2 \text{Longitud muestra}} \frac{g}{cm^3} \quad (11)$$

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

Fundamento

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

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

Procedimiento

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

- Centrifugar a 5000 rpm, durante 20 minutos.
- Después de centrifugar se deben tener separados el gel y el sobrenadante.
- Decantar el sobrenadante en un tubo de centrifuga graduado y medir el volumen. No descartar el gel del tubo.
- Filtrar el sobrenadante y descartar lo que queda en el papel filtro.
- Tomar 10 ml del filtrado y secar por 4 horas a 90°C en las cajas petri.
- Pesar el gel que quedó en el tubo.

Cálculos

$$IAA = \frac{\text{Peso del gel (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)}} \times 100 \quad (12)$$

$$ISA = \frac{\text{Peso de solubles (g)}}{\text{Peso de la muestra (g)}} \times 100 \quad (13)$$

❖ Digestibilidad de la Proteína

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

Procedimiento

- Pesamos 100 mg de muestra seca y desgrasada
- Procedemos a incubar 20 ml de HCl 0,1 N y 1,5 mg de pepsina a 37°C/3 h y neutralizar con 10 ml de NaOH 0,2 N.
- Se añade 40 mg de pancreatina en 7,5 ml de buffer fosfato (pH = 8) y se incubó a 37°C/24h, posteriormente se añade 700 ml de ácido tricloroacético 80%.
- Centrifugamos durante 10 min. Al sedimento se le adiciona 30 ml de H₂O, se filtra y deshidrata a 45°C/24 h. Al residuo deshidratado y a la muestra inicial se le determina el contenido de proteínas (micro Kjeldahl). El PDPV se calcula mediante la ecuación:

$$DPIV = \frac{\text{proteína de la muestra} - \text{proteína en el residuo}}{\text{proteína de la muestra}} \times 100 \quad (14)$$

❖ Perfil de aminoácidos

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

Procedimiento:

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

➤ Análisis del Perfil de Textura Instrumental

Tabla 21. Análisis de Textura Instrumental realizado al producto extruido

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

❖ **Dureza**

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

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

❖ **Crujencia**

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

❖ **Resistencia a la ruptura**

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

3.4.3 ANÁLISIS DE ACEPTABILIDAD SENSORIAL

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

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

$$x^2 = \frac{12}{rt(t+1)} * \pi \sum R^2 - 3r(t+1) \quad (15)$$

Donde:

$x^2 = Chi - Cuadrado$

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

r = Numero de catadores

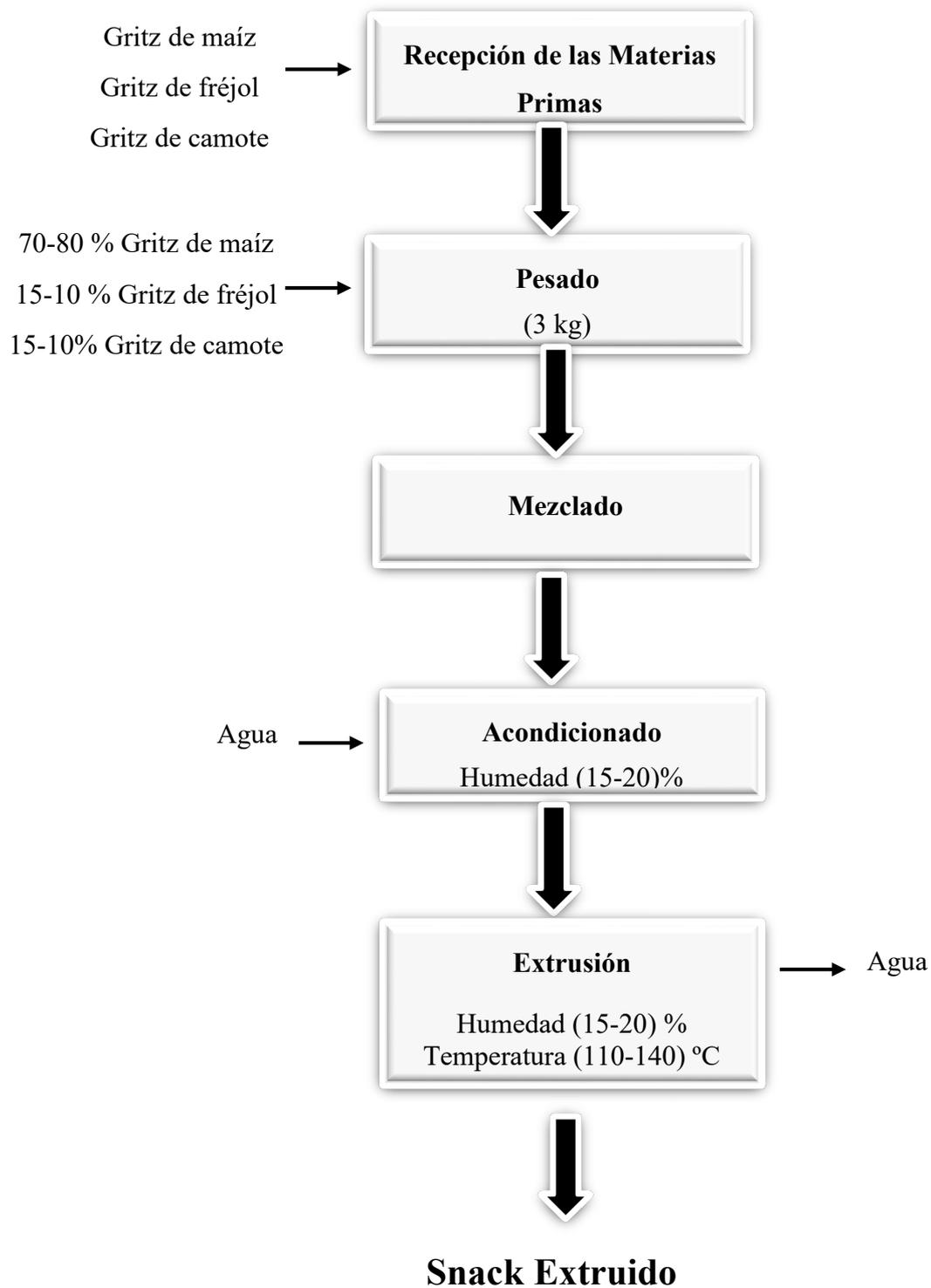
t = Tratamientos

4.4.3 ANÁLISIS DE EVALUACION SENSORIAL DE TEXTURA DESCRIPTIVA

El análisis para evaluar la textura descriptiva de los productos extruidos se realizó con un panel semi-entrenado del Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Donde se evaluó los atributos de: dureza, crujencia, fracturabilidad y adherencia. Para ello se utilizó un protocolo de capacitación (Anexo 4).

3.5 MANEJO ESPECÍFICO DE LA INVESTIGACIÓN

El proceso de elaboración para el snack extruido expandido a base de maíz, fréjol y camote se describe en el diagrama de bloques.



3.5.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

1. Recepción de materia prima e insumos

Se recibe las materias primas maíz, fréjol y camote. Los gritz de fréjol y el camote son obtenidos tras un pre-proceso de deshidratación. Posteriormente estas materias primas secas pasan a una etapa de molienda con el fin de conseguir gritz

Finalmente, los gritz obtenidos en el paso anterior ingresaron a una tamizadora analítica compuesta de mallas metálicas #10, para alcanzar una granulometría de 2,8 mm de diámetro de partícula, con el fin de mejorar el flujo de materiales en la cámara de extrusión.

2. Pesado y Mezclado

Los diferentes tipos de gritz son pesados en una balanza analítica, de acuerdo con los porcentajes según las formulaciones previstas, estas se mezclan hasta obtener una mezcla homogénea.

A cada una de las mezclas ya formuladas, se procedió a tomar 2 gr de muestra para analizar el contenido de humedad inicial en una balanza infrarroja.

3. Acondicionamiento

Una vez obtenida la humedad inicial de las materias primas, se procede a brindar las condiciones adecuadas para alcanzar una humedad del 15% y 20%, según la siguiente ecuación:

Cálculo

$$P1(\%H1) + P2(\%H2) + P3(\%H3) = PT (Hx) \quad (16)$$

Donde:

P1, P2, P3= Peso de las materias primas

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

PT= Peso total de la mezcla

Hx= Humedad final

4. Extrusión

Esta fase consistió en dar forma a la mezcla de materias primas, forzándolas a través de un extrusor de simple tornillo, donde se aplicó una cocción rápida, continua y homogénea.

Mediante este proceso de inducción de energía térmica y mecánica, ingresaron los gritz previamente acondicionados, a una velocidad de tornillo de 300 rpm, lo cual se sometió al alimento a temperaturas de 120°C y 140°C, donde mediante la alta presión saldrá el producto por una abertura o boquilla de 2 mm con un diseño específico.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la presente investigación se utilizaron griz de maíz duro, fréjol rojo INIAP 481 y camote blanco, con una granulometría de 2,80 mm de diámetro. Los materiales fueron sometidos a deshidratación, molienda y tamizado, hasta cumplir las condiciones del proceso de extrusión en caliente para obtener productos expandidos.

El proceso de elaboración de snacks de expandidos se llevó a cabo en un extrusor de simple tornillo con las siguientes características:

Tabla 22. Condiciones del proceso de extrusión

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

4.1 CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE LAS MATERIAS PRIMAS

Las muestras de griz previamente acondicionadas al proceso de extrusión, fueron sometidas a análisis físico-químicos de contenidos de humedad, cenizas, proteína, extracto etéreo, fibra, carbohidratos y almidón. Estos análisis permiten establecer los contenidos nutricionales iniciales y proceder a la formulación de la mezclas, tal como se observa en la tabla 23.

Tabla 23. Composición nutricional de las materias primas

PARÁMETROS		GRITZ DE MAÍZ	GRITZ DE FRÉJOL	GRITZ DE CAMOTE
Humedad	%	12,42	5,05	8,28
Cenizas	%	0,63	3,57	2,27
Proteína	%	9,42	22,11	2,98
Extracto etéreo	%	2,09	2,30	1,06
Fibra bruta	%	0,89	0,99	1,36
Carbohidratos	%	75,44	66,97	85,41
Almidón	%	72,68	68,55	74,80
Amilosa	%	21,04	16,76	23,49
Amilopectina	%	78,96	83,24	76,51

Laboratorio del Departamento de Nutrición y Calidad de Santa Catalina (INIAP)

Guy (2001) propone un sistema de clasificación de las materias primas en siete grupos destinadas a la extrusión en caliente en función de la funcionalidad de los nutrientes de la mezcla, donde el almidón influye en la estructura y la proteína actúa como fase dispersa de un producto extruido expandido.

En la tabla 23 se aprecia la composición nutricional en base seca de los griz de maíz, fréjol y camote empleados en la investigación, donde el contenido de humedad del maíz es 12,42%, el camote con 8,28% y el fréjol con 5,05%. Los cuales están dentro del límite máximo establecido del 14,50% de humedad que establece la norma de “Granos y Cereales” NTE INEN: 2051 (1995).

Así mismo, el contenido de cenizas es un indicador de minerales en el alimento, donde el maíz contiene 0,63%, camote 2,27% y fréjol 3,57%, por ende los valores obtenidos se encuentran dentro del rango establecido por el Codex Alimentario, 2012 para cereales, legumbres leguminosas y productos proteicos vegetales, donde establece, un valor máximo de 4%.

Por otro lado, los análisis realizados a los gritz determinaron contenidos en el maíz de 9,42% proteína, 2,09% grasa, 0,89% fibra, estos resultados fueron similares a los encontrados en la investigación realizada por León & Rossell (2007), que obtuvieron valores de proteína de $7,80\% \pm 0,40$, grasa $3,80\% \pm 0,11$ y fibra $0,82\% \pm 0,20$.

Además, Guzmán et al., (2002) y Medero (2006) definen que el fréjol posee un alto valor nutrimental, debido al contenido de proteína, carbohidratos y fibra. Según esto el contenido de proteína del fréjol utilizado como materia prima es del 22,11%.

Mientras, el mayor contenido de carbohidratos fue de los gritz de camote utilizado con 85,83%, esto concuerda los estudios realizados por el INIAP (2015). Sin embargo, el camote presentó bajo contenido de proteína del 2,98%, a pesar de esto Ruiz, (2010) menciona que la proteína posee un alto valor biológico por los aminoácidos que dispone.

Asimismo, el contenido de almidón formado por amilosa y amilopectina, encontrado en la caracterización fisicoquímica en el maíz fue 15,08%, fréjol 11,49% y camote 17,57%. Según, Torres & Pérez (2006) mencionan que para productos expandidos es conveniente que el almidón posea de 5% a 20% de amilosa, para obtener un producto extruido de características de calidad deseadas. Es evidente que las materias primas (gritz de maíz, fréjol y camote) utilizadas cumplen con los parámetros establecidos en la norma de “Granos y Cereales” NTE INEN: 2051 (1995).

Tabla 24. Composición nutricional de las mezclas

Parámetros	Mezcla 1	70%Maíz	80%Maíz
		15%Fréjol 15%Camote	10%Fréjol 10%Camote
Humedad	%	9,37	9,92
Cenizas	%	1,13	1,41
Proteína	%	12,60	13,02
Extracto etéreo	%	1,49	1,65
Fibra bruta	%	0,34	0,40
Carbohidratos	%	75,41	74,00

Laboratorio del Departamento de Nutrición y Calidad de Santa Catalina (INIAP)

La norma de “Mezclas Alimenticias” NTE INEN:3084 (2015) define a una mezcla como el producto elaborado a partir de la combinación de materias primas deshidratadas, que para ser utilizadas dentro de un proceso deben cumplir con un contenido máximo de humedad del 14,5%, lo que indica que los datos obtenidos se encuentran dentro del rango establecido por la norma vigente.

Los componentes como: humedad, grasa, proteína, fibra y carbohidratos totales, influyen en las características y propiedades finales de la masa que fluye dentro del extrusor (Martínez, 2012).

En la tabla 24 se muestra el análisis físico-químico realizado a los dos tipos de mezclas, comparado con la composición inicial de cada materia prima (gritiz de maíz, fréjol y camote), se observa un incremento en el contenido nutricional, por la complementación de los tres tipos de gritiz.

Muños, (2012) afirma que el maíz es un cereal deficiente en lisina y triptófano, pero rico en metionina, por lo que al ser mezclado con una leguminosa como el fréjol pobre en metionina y rica en lisina y triptófano, se obtiene un producto con un mejor balance de aminoácidos, por lo tanto mejora la calidad nutricional del alimento.

Así mismo (Serrano, 2010) manifiesta que el fréjol complementa en su contenido y calidad de las proteínas a los cereales y tubérculos ricos en almidón, ya que los

vuelve más digeribles y aporta con nutrientes necesarios para el ser humano. Además (Ruiz, 2010) cita que el camote dispone de un bajo contenido proteico, sin embargo el valor biológico de la proteína es bajo, por lo que se justifica la mezcla del maíz y el fréjol, que viene a completar el perfil de aminoácidos esenciales y mejorar el valor biológico de la proteína.

4.2 DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICO-QUÍMICAS EN EL PRODUCTO EXTRUIDO

La tabla 25 hace referencia al análisis de varianza de las propiedades fisico-químicas evaluadas y estudiadas del snack extruido expandido, como son: humedad, cenizas, proteína, grasa, fibra y carbohidratos. Donde el análisis estadístico establece diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) tanto en tratamientos como en el factor **A** (tipo de mezcla), factor **B** (humedad de la mezcla), factor **C** (temperatura de extrusión) y las interacciones **AB**, **AC** y **BC**, a excepción de los contenidos de humedad y cenizas.

Con relación a las interacción: **AB** (formulación de la mezcla vs humedad de la mezcla), presentó diferencia altamente significativa ($p \leq 0.01$) en las variables: humedad, proteína, grasa y fibra; Significancia ($p \leq 0.05$) en carbohidratos y no Significancia en el contenido de cenizas.

Asimismo, la interacción: **AC** (formulación de la mezcla vs temperatura de extrusión) es altamente significativo ($p \leq 0.01$) en la mayoría de las variables, a excepción del contenido de cenizas que no es significativo, que demuestra que no tuvo ningún efecto sobre los tratamientos.

Mientras, la interacción **BC** (humedad de la mezcla vs la temperatura de extrusión) registra valores altamente significativos ($p \leq 0.01$), en los contenidos: proteína, grasa, fibra y carbohidratos. Por otro lado, las variables de humedad y cenizas no mostraron ningún efecto para esta interacción.

En los resultados de los tratamientos que registraron variaciones altamente significativas ($p \leq 0.01$) en las variables fisico-químicas analizadas, se procedió a realizar la prueba de Tukey al 5% con su respectiva desviación estándar.

Tabla 25. Análisis de varianza de las variables fisico-químicas evaluadas en el Snack Extruido

Fuentes de Variación	G.L	Humedad	Cenizas	Proteína	Grasa	Fibra	Carbohidratos
		F-valor	F-valor	F-valor	F-valor	F-valor	F-valor
Total	26						
Tratamientos	8	2384,14 **	129,21**	242,34 **	160,24 **	281,25 **	487,21 **
A (Tipo de mezcla)	1	486,51 **	183,50**	62,10 **	823,88 **	686,11 **	270,36 **
B (Humedad en la mezcla)	1	13417,92 **	61,21**	170,33 **	130,73 **	38,33 **	742,65 **
C (Temperatura de extrusión)	1	375,46 **	25,81**	109,39 **	73,75 **	12,42 **	0,53 *
AB	1	547,37 **	0,60 ^{ns}	29,38 **	28,80 **	165,35 **	9,43 *
AC	1	1402,52 **	2,36 ^{ns}	61,75 **	23,69 **	13,80 **	39,35 **
BC	1	0,01 ^{ns}	0,15 ^{ns}	606,90 **	13,03 **	141,76 **	459,72 **
ABC	1	567,97 **	1,88**	564,38 **	48,86 **	1,10 ^{ns}	864,91 **
Testigo vs Resto	1	2275,33 **	758,13 **	334,50 **	139,15 **	1191,10 **	1510,75 **
Error experimental	18						
CV (%)		0,84	3,23	1,42	1,67	2,06	0,19

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

4.2.1 CONTENIDO DE HUMEDAD

El contenido de humedad de los productos extruidos determinados en los tratamientos de esta investigación, se presentan en la Figura 4, donde el tratamiento **T2** y testigo, presentan menores contenidos de humedad del 5,05% y 5,13% respectivamente, con relación a los demás tratamientos. Mientras, que los snacks de los tratamientos **T3** y **T8**, presentaron mayores contenidos de humedad de 9,49% y 8,02%, respectivamente.

Los resultados del análisis de varianza (Tabla 25) refleja que los tratamientos, los factores **A** (formulación de la mezcla), **B** (humedad de la mezcla), **C** (temperatura de la cámara de extrusión) y las interacciones: **AB**, **AC**, influyen significativamente ($p \leq 0.01$) en el contenido de humedad del producto extruido.

La prueba de Tukey al 5%, determinó que el tratamiento **T2** (70% maíz + 15% fréjol + 15% camote) con 15% humedad y extruida a 140°C y el **testigo** (100% maíz), presentaron bajos contenidos de humedad con relación a los demás tratamientos. Por lo tanto, se ubicaron en el rango (**a**), con un valor de humedad de 5,05% y 5,13% respectivamente. Se consideró al **T2** como el mejor tratamiento en esta variable, puesto que no presento diferencia significativa con el testigo.

Por otra parte, los tratamientos **T3** (70% maíz + 15% fréjol 15% camote) con 20% humedad de la mezcla y extruida 110°C y **T8** (80% maíz + 10% fréjol + 10% camote) a 20% de humedad y extruida a 140°C de temperatura, registraron valores superiores de humedad con relación a los demás tratamientos. Por lo tanto se ubicaron en los últimos rangos (**f** y **g**), con valores de humedad de 8,02% y 9,49%, respectivamente.

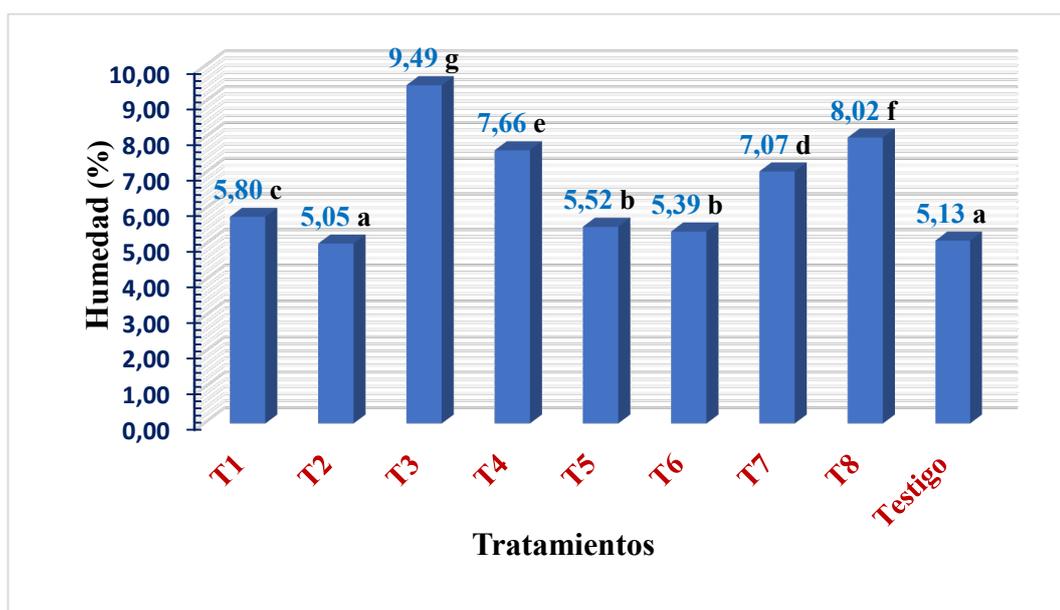


Figura 4. Contenido de humedad de los tratamientos

En el proceso de extrusión la humedad es uno de los parámetros más importantes, ya que ayuda a la biodisponibilidad de nutrientes por medio de la gelatinización. Lević et al., (2010) manifiesta que los niveles de humedad del material tratado deben ser inferiores al 30%.

En la Figura 4 se puede apreciar el contenido de humedad de los productos extruidos, con valores que oscilan desde 5,05% a 9,49%, que según Pérez (2013) están dentro del rango establecido, ya que en su investigación utilizó mezclas con 10% a 30% de humedad y 100°C a 180°C de temperaturas de extrusión, donde el producto a la salida del extrusor tuvo niveles de humedad del 5% al 10 %.

Por otra parte, los tratamientos **T1**, **T2**, **T5**, **T6** y **testigo** presentaron menores contenidos de humedad en los extruidos, con relación a los demás, ya que la humedad de la mezcla fue acondicionada a 15%. Según, Túpaca (2012) menciona que los niveles de humedad óptimos de la mezcla están entre el 10% y 40%, ya que el material a bajos valores actuará bien dentro del extrusor como un fluido de alta viscosidad y conservará el valor nutritivo.

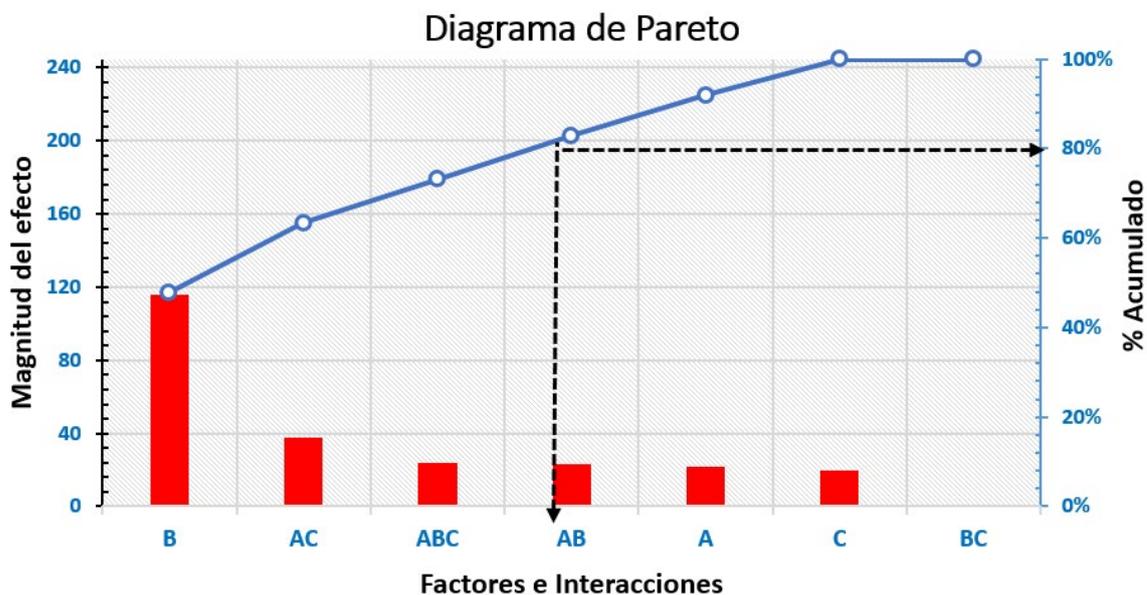


Figura 5. Factores e Interacciones que afectaron al contenido de humedad

La Figura 5 indica la magnitud de los efectos de los factores en estudio sobre el contenido de humedad de los productos extruidos, en la cual observamos que el factor **B** (humedad de la mezcla) y la interacción **AC** (formulación de la mezcla vs temperatura de extrusión) influyen significativamente sobre la humedad. Sin embargo, el factor **B** presentó el mayor efecto sobre la humedad del extruido. El efecto de la humedad de la mezcla es directamente proporcional del snack extruido, es decir, que a medida que aumenta la humedad de la formulación se incrementa el contenido de humedad de los extruidos. Según, Kasprzak et al. (2013) encontró que los snacks extruidos con menor contenido de humedad, produjeron matrices con espacios intercelulares de aire con mayores diámetros y paredes más delgadas, cuya fuerza de ruptura es responsable del atributo sensorial de crujencia.

Por lo tanto, para obtener productos extruidos expandidos con bajas humedades y mejores características sensoriales, se debe emplear mezclas de griz de 70% maíz + 15% fréjol+ 15% camote con 15% de humedad y temperatura de 140°C en la cámara de extrusión.

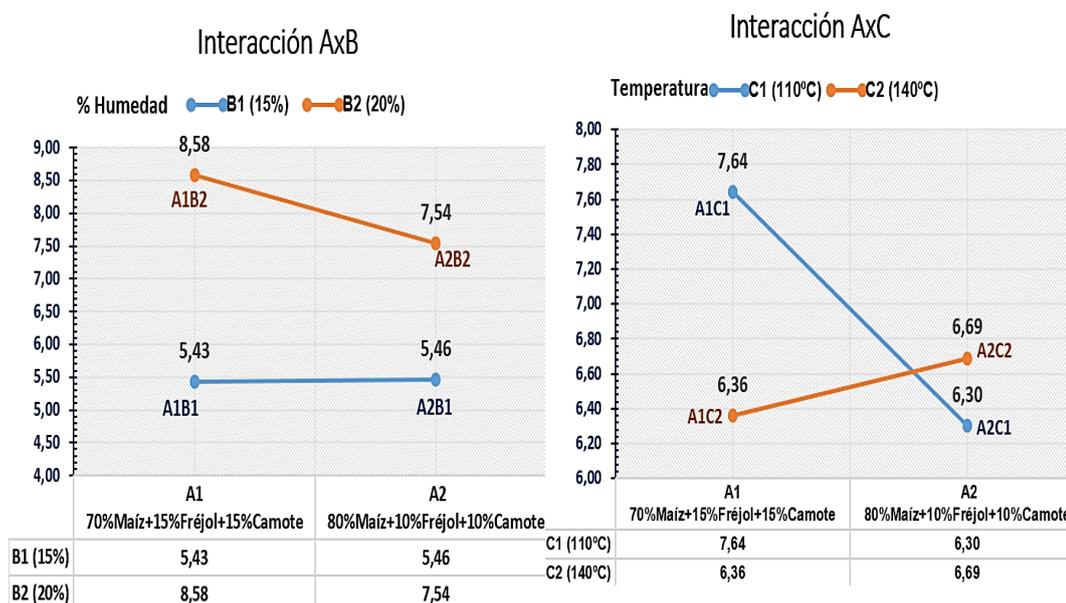


Figura 6. Interacción **AB** (formulación de la mezcla vs humedad de mezcla), **AC** (formulación de la mezcla vs temperatura de extrusión), en la variable Humedad

Los resultados de los contenidos de humedad de los productos extruidos registrados en la Figura 6, indican que en la interacción **AB**, se obtienen productos extruidos con bajos niveles de humedad con el factor A2 (70% maíz + 15% fréjol + 15% camote) y baja humedad de la mezcla B1 (15%). Según, Gulati, Weier, Santra, Subbiah, & Rose (2016) manifiestan que a bajas condiciones de humedad en las harinas, proporcionan productos extruidos más aceptable, mayor índice de expansión y menor dureza. Mientras, en la interacción **AC**, los extruidos presentan menor contenido de humedad cuando la formulación contiene un 80% de maíz y la temperatura de extrusión es de 110°C.

4.2.2 CONTENIDO DE CENIZAS

En la Figura 7 se presenta el contenido de cenizas de los extruidos, donde se observa que los tratamientos registran valores que oscilan entre 0,99% a 1,36%, superiores al testigo (100% maíz) que registra un valor de 0,57%.

El análisis de varianza del contenido de cenizas de los productos extruidos (Tabla 25) reflejan que tanto los tratamientos como los factores **A** (formulación de la mezcla), **B** (humedad de la mezcla) y **C** (temperatura de extrusión) influyen significativamente ($p \leq 0.01$) sobre esta variable.

La prueba Tukey al 5%, determinó que los tratamientos **T1**, **T2**, **T3** y **T4** resultantes de la proporción (p/p) (70% maíz + 15% fréjol + 15% camote), registraron valores superiores de cenizas, con relación a los demás tratamientos y testigo, que registró un valor de 0,57%. Por lo tanto, se ubicaron en los rangos (**a**, **ab**, **bc** y **c**) como los mejores tratamientos.

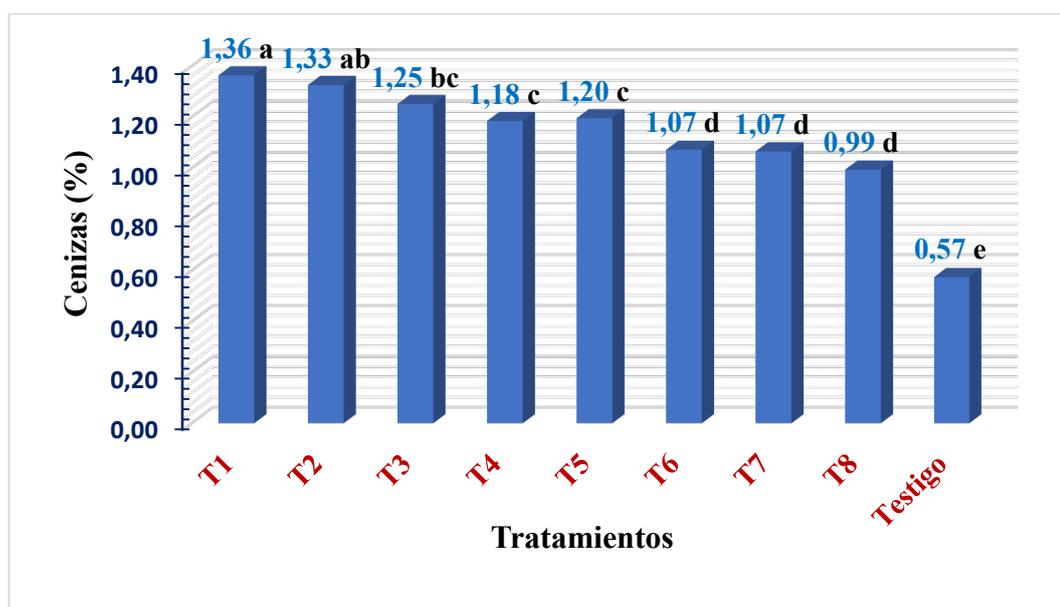


Figura 7. Contenido de Cenizas de los tratamientos

La Figura 7 indica el contenido de cenizas de los tratamientos en estudio, resultaron inferiores al 2.00% del total de cenizas presentes en los productos extruidos, debido a que la extrusión tiene bajo efecto sobre los minerales inertes, además este proceso reduce el tamaño de las partículas minerales. Por lo tanto, la formulación debe

poseer bajo contenido de cenizas, ya que estos provocan el desgaste de los tornillos del extrusor (Mian & Galen, 2012).

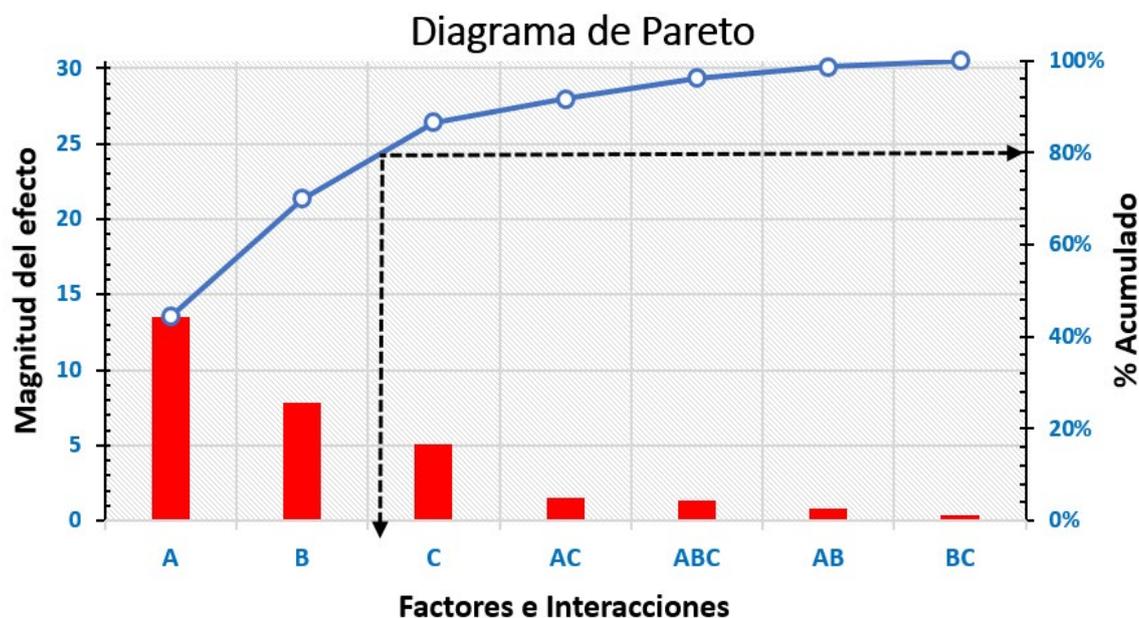


Figura 8. Factores e Interacciones que influyeron al contenido de Cenizas

La Figura 8 registra el análisis de Pareto de los efectos, el cual indica que los factores: **A** (formulación de la mezcla) y **B** (humedad de la mezcla), muestran diferencias estadísticas significativas ($p \leq 0.01$) sobre el contenido de cenizas en los productos extruidos. Es evidente que la formulación tuvo mayor efecto sobre el contenido de cenizas del snack, es decir, que a medida que se sustituye el maíz del 20 a 30% por fréjol y camote en la formulación, se incrementa el contenido de cenizas en el producto final.

4.2.3 CONTENIDO DE PROTEÍNA

El contenido de proteína de los snacks extruidos de los tratamientos en estudio se observa en la Figura 9, que los tratamientos registran valores superiores entre 8,72 % a 12,48%, con relación al testigo (100% maíz) de 8,32%.

El análisis de varianza de la tabla 25, indica que tanto los tratamientos, como los factores: **A** (formulación de la mezcla), **B** (humedad de la mezcla); y **C** (temperatura de extrusión) y sus respectivas interacciones influyen significativamente ($p \leq 0.01$) sobre el contenido de proteína del producto extruido.

La prueba de comparación múltiple de Tukey al 5%, determinó que el tratamiento **T2** (70% maíz + 15% fréjol + 15% camote) con 15% humedad y 140°C de temperatura de extrusión, registró el valor más alto de proteína con relación a los demás tratamientos. Por lo tanto, se ubicó en el rango (**a**), con un valor de 12,48%.

Por otra parte, el tratamiento **T4** (70% maíz + 15% fréjol + 15% camote) con 20% humedad y 140°C temperatura de extrusión, registró el valor más bajo de proteína con 8,72%. Sin embargo, el testigo (100% maíz) registró un contenido de proteína muy inferior a los tratamientos con 8,32%, ubicándose en el último rango (**e**).

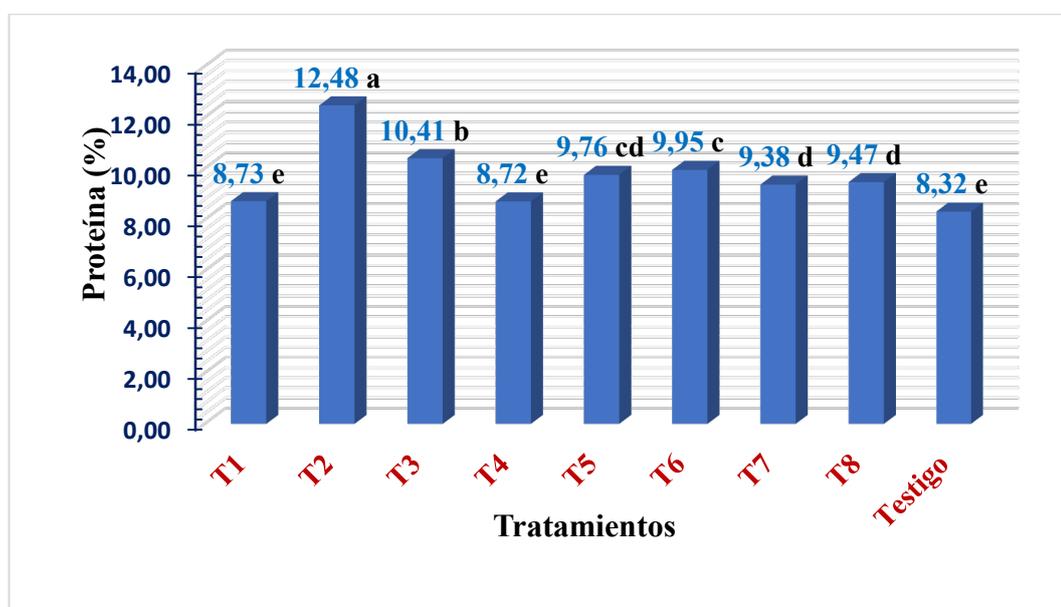


Figura 9. Contenido de Proteína de los tratamientos

Los autores Ramachandra & Thejaswini (2015), exponen que las materias primas más utilizadas en el proceso de extrusión son materiales que contienen básicamente almidón y proteína, ya que la estructura de los productos extruidos se forman a partir de estos dos polímeros, además de obtener alimentos altamente nutritivos.

La Figura 9 muestra que el contenido de proteína alcanzado en los tratamientos, oscila desde 8,72% hasta 12,48%, a diferencia del testigo (100% maíz) que tiene 8,32%, siendo este el más bajo, resultados obtenidos por Patil et al. (2016), quienes registraron un aumento en el contenido de proteína del producto extruido, conforme adicionaban leguminosas a las muestras. A pesar de esto (Maskan & Altan, 2011) explican que las proteínas de cereales y leguminosas no son tan buenas como el almidón de maíz, cuando se trata de formar una estructura porosa altamente expandida, ya que este almidón forma un complejo con la proteína con ayuda del aumento de temperatura. Así mismo Mian & Galen (2012) manifiestan que los altos niveles de proteína en una formulación no son muy favorables ya que dan como resultado una menor expansión, menor durabilidad, texturas firmes y duras que generarán polvo fino durante la manipulación y el transporte.

Por otro lado la extrusión al ser un tratamiento térmico tiene un efecto conservador ya que el valor nutricional de las proteínas vegetales se mejora, generalmente mediante condiciones de cocción, debido al aumento de digestibilidad, probablemente por la desnaturalización de las proteínas y la inactivación de inhibidores enzimáticos presentes en las materias primas (Ramachandra & Thejaswini, 2015).

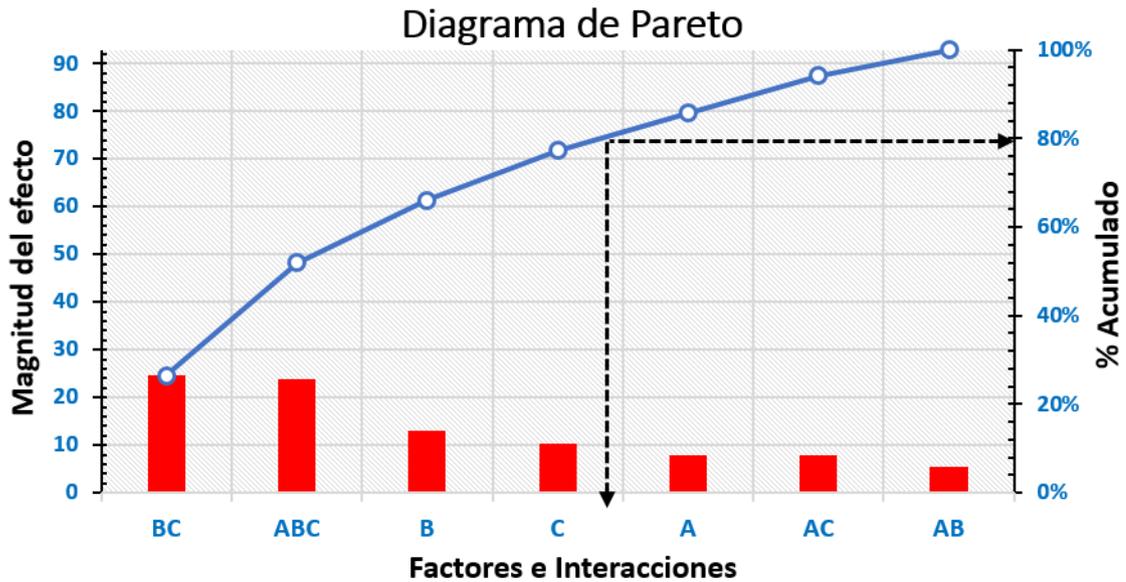


Figura 10. Factores e Interacciones que influyeron en el contenido de proteína

El análisis mostrado en la Figura 10, indica que tanto los factores **A** (formulación de la mezcla), **B** (humedad de la mezcla), **C** (temperatura de extrusión), como las interacciones (**AB**, **AC**, **BC**) presentan diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$). Dejando a la interacción **BC** (humedad de la mezcla vs temperatura de extrusión) como la mayor magnitud de efecto sobre el contenido de proteína en el producto extruido.

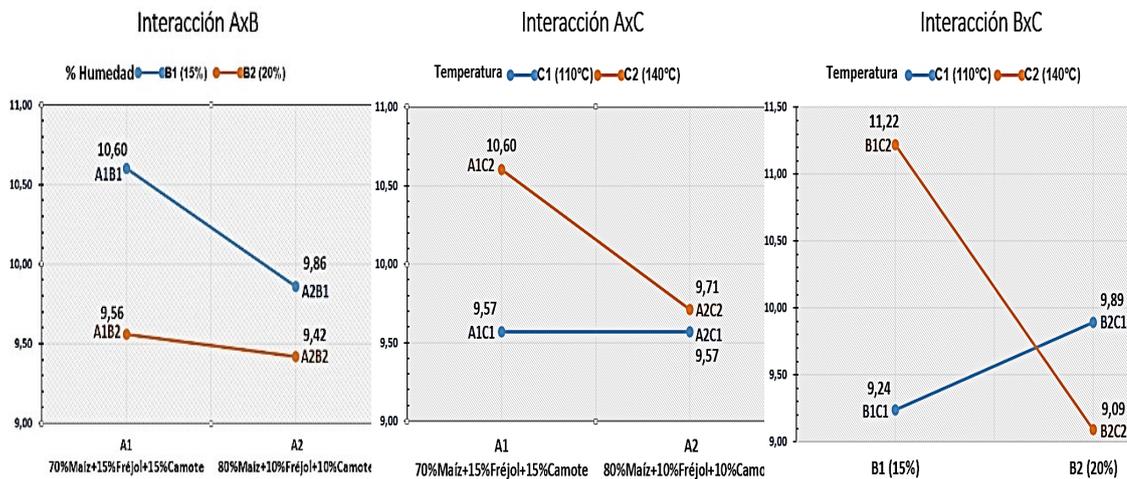


Figura 11. Interacción **AB** (formulación de la mezcla vs humedad de mezcla), **AC** (formulación de la mezcla vs temperatura de extrusión), **BC** (humedad de la mezcla vs temperatura de extrusión), en la variable proteína.

En la interacción **AB** se puede notar que cuando los dos tipos de formulación **A1**, **A2**, (70% maíz + 15% fréjol + 15% camote; 80% maíz + 10% fréjol + 10% camote), son pre-acondicionadas con 15% de humedad, el contenido de proteína es mayor,

por el contrario, cuando estas mezclas son tratadas con una humedad del 20%, este contenido tiende a reducir su valor proteico.

En cuando a la interacción **AC** se puede deducir que el mayor valor proteínico del producto se consigue cuando las formulaciones se someten a una temperatura de 140°C en la cámara de extrusión, ya que cuando se utiliza temperaturas inferiores (110°C), la proteína en la mezcla es baja, además de mantenerse en un valor constante de 9,57%.

Con respecto a la interacción **BC**, se puede inferir que cuando las mezclas se tratan con bajos contenidos de humedad (15%) y altas temperaturas (140°C) durante el proceso de extrusión, el porcentaje de proteína se mantiene en el producto con respecto a las mezclas nativas empleadas.

Tomando en cuenta las consideraciones anteriores, se puede concluir, que los factores que más influyeron en el contenido proteico de los productos extruidos son **B** (15% humedad) y **C** (140°C) y su respectiva interacción **BC**, tal y como se muestra en el diagrama de Pareto (Figura 10).

Dadas las condiciones que se presenta en el gráfico interacciones 11 el mejor tratamiento en esta variable es el **T2** (70% maíz + 15% fréjol + 15% camote) por presentar el más alto valor proteico con un 12,48% en relación con los demás.

4.2.4 CONTENIDO DEL EXTRACTO ETereo

En la Figura 12 se presenta el contenido de grasa de los productos obtenidos en el proceso de extrusión, donde se registran valores que desde 0,40% hasta 0,54%.

Los resultados del análisis de varianza (Tabla 25) reflejan que tanto los tratamientos, los factores **A** (formulación de la mezcla), **B** (humedad de la mezcla), **C** (temperatura de extrusión) y sus respectivas interacciones **AB**, **AC**, **BC** influyen significativamente ($p \leq 0.01$) en el contenido de grasa del producto extruido.

Mediante la prueba de Tukey al 5%, se determinó que los tratamientos **T2**, **T3** y **T4** elaborados con la formulación de 70% maíz + 15% fréjol + 15% camote, registraron contenidos bajos de grasa con relación a los demás tratamientos. Por lo tanto, se

ubicaron en el rango (a), con valores de grasa de 0,40% a 0,50%. Se consideró a estos tratamientos como los mejores en esta variable.

Por otra parte, los tratamientos **T5**, **T6**, **T7** elaborados con 80% maíz + 10% fréjol + 10% camote y el testigo, no presentaron diferencia estadística significativa. Por lo tanto se localizaron en el último rango (c), con valores de humedad de 2,01 y 1,89%, respectivamente.

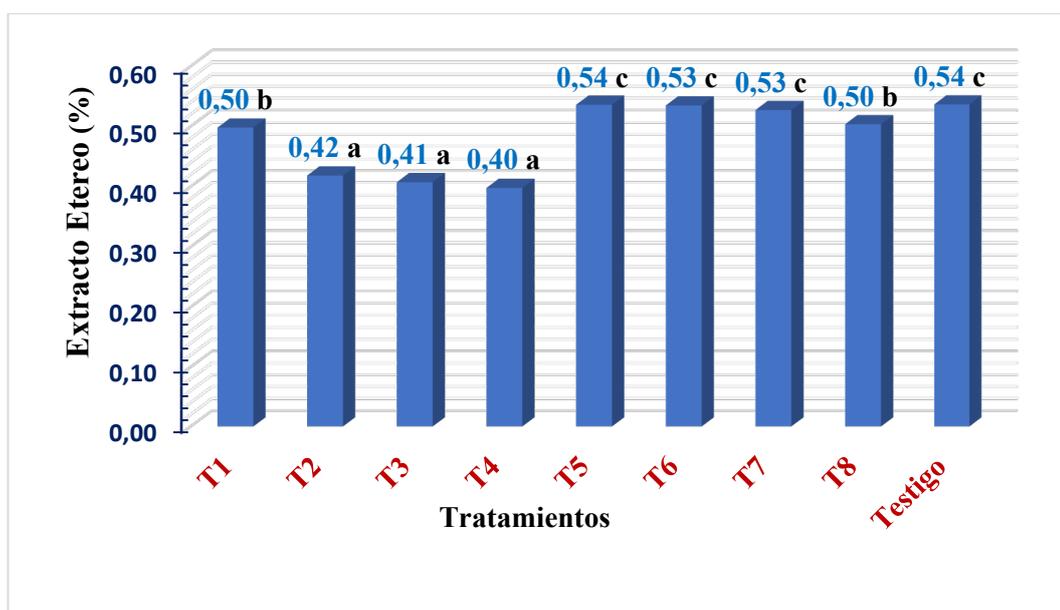


Figura 12. Contenido de extracto etéreo en los tratamientos

Un estudio realizado por Torres & Pérez (2006) expresa que, es importante controlar el nivel de grasas en la extrusión, ya que en algunos casos una pequeña variación de grasa puede afectar drásticamente el producto, debilitando la estructura celular, causando fusión y porosidad.

En la Figura 12, se presentan los valores del contenido de grasa de los tratamientos en estudio. Se resalta el menor contenido de grasa, al tratamiento **T4** (70% maíz+15% fréjol+15% camote; 20% humedad; 140°C) con un 0,40%, a diferencia del tratamiento **T5** (80% maíz+10% fréjol+10% camote; 15% humedad; 110°C) y **Testigo** que presentan el más alto valor con un 0,54%. Como es evidente en la figura, los datos obtenidos de todos los tratamientos presentan valores de grasa inferiores al 1%, lo que resulta oportuno citar a Mian & Galen (2006) quienes afirman que, cuando los niveles de adición de grasa superan el 17%, el producto

extruido puede tener poco o nada de expansión y la durabilidad puede verse afectada significativamente. Por lo que se concluye que los tratamientos no tendrán características finales negativas.

En el presente estudio el contenido de grasa de todos los tratamientos se encuentran dentro del rango que establece la norma técnica colombiana para snacks extruidos NTC 3659; 2006.

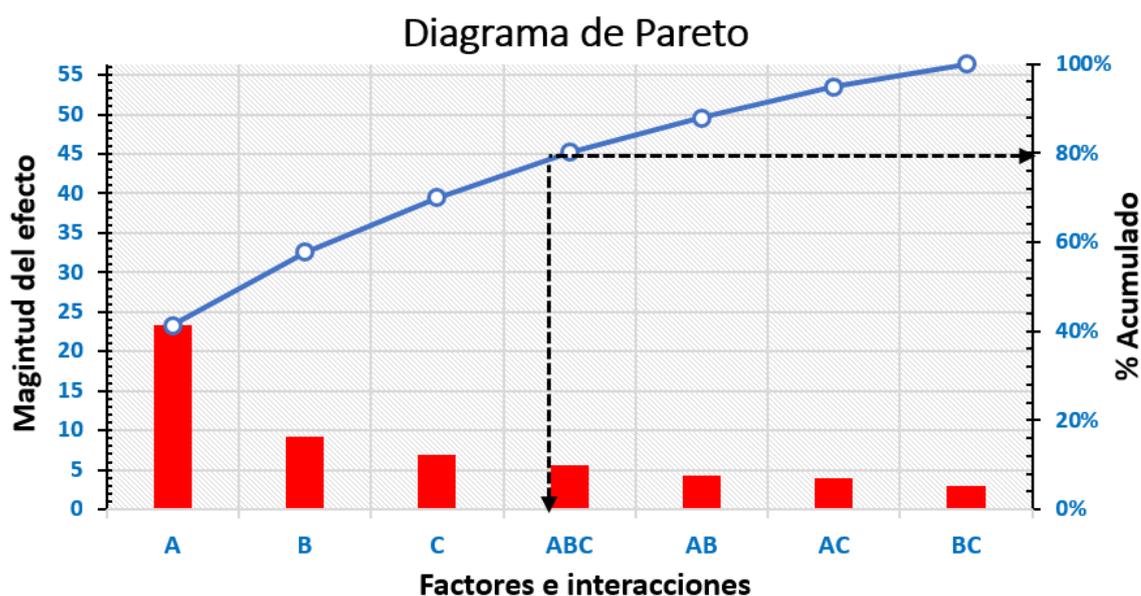


Figura 13. Factores e Interacciones que influyeron en el extracto etéreo

Los factores e interacciones resultaron ser altamente significativos ($p \leq 0.01$) en el análisis de varianza, para el contenido de extracto etéreo de los productos extruidos.

Los factores: **A** (formulación de la mezcla), **B** (humedad de la mezcla), **C** (temperatura de extrusión), como se puede observar en la Figura 13 muestran mayor magnitud de efecto sobre el contenido de grasa presente en los tratamientos, siendo el factor **A** el que más influyó en el proceso con relación a los demás factores.

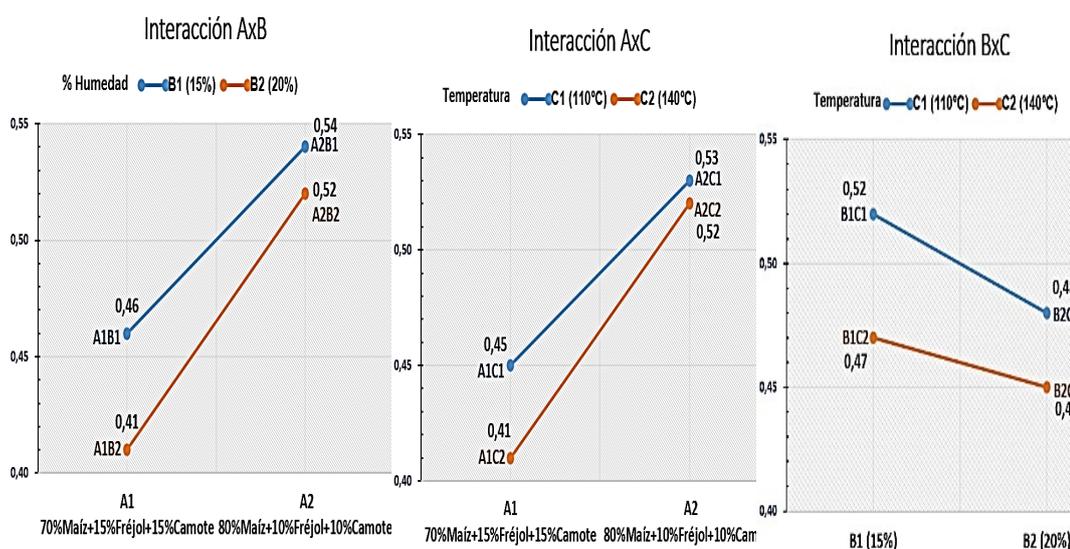


Figura 14. Interacción **AB** (formulación de la mezcla vs humedad de mezcla), **AC** (formulación de la mezcla vs temperatura de extrusión), **BC** (humedad de la mezcla vs temperatura de extrusión), en el extracto etéreo.

La Figura 14 representa a la interacción **AB** (formulación de la mezcla vs humedad de la mezcla), donde se puede observar que los más bajos contenidos de grasa de los productos extruidos, se obtienen con el nivel **A1** (70% maíz+ 15% fréjol+ 15% camote).

De la misma forma la interacción **AC** (formulación de la mezcla vs temperatura de extrusión), se complementa con la gráfica **AB**, donde el factor **A1** que mayor influye.

En cuanto a la interacción **BC** (humedad de la mezcla vs temperatura de extrusión), el factor **B2** (20% humedad) es aquel que más influye en la formulación. En contraste con lo anterior se puede considerar al **T4** como el mejor tratamiento por presentar el menor contenido de grasa en el producto extruido.

4.2.5 CONTENIDO DE FIBRA

El contenido de fibra presente en los productos extruidos determinados en los tratamientos de esta investigación, se presentan en la Figura 15. En la cual se puede observar que los tratamientos **T1, T2, T3, T4** procedentes de la formulación de 70% maíz + 15% fréjol + 15% camote, contienen mayor cantidad de fibra con relación a los demás tratamientos y testigo.

Los resultados del análisis de varianza (Tabla 25) reflejan que tanto los tratamientos, como los factores **A** (formulación de la mezcla), **B** (humedad de la mezcla), **C** (temperatura de extrusión) y sus interacciones **AB, AC** y **BC**, influyen significativamente ($p \leq 0.01$) sobre el contenido de fibra del producto extruido.

Con la prueba de Tukey al 5%, se determinó que los tratamientos **T3** y **T2** formulados con 70% maíz + 15% fréjol + 15% camote, registraron los valores más altos de fibra con relación a los demás tratamientos. Por lo tanto, se ubicaron en el rango (**a**), con un valor de 1,28% y 1,22%, respectivamente. Mientras que el testigo (100% maíz), registró un valor muy inferior, ubicándose en el rango (**h**) con 0,64% de contenido de fibra.

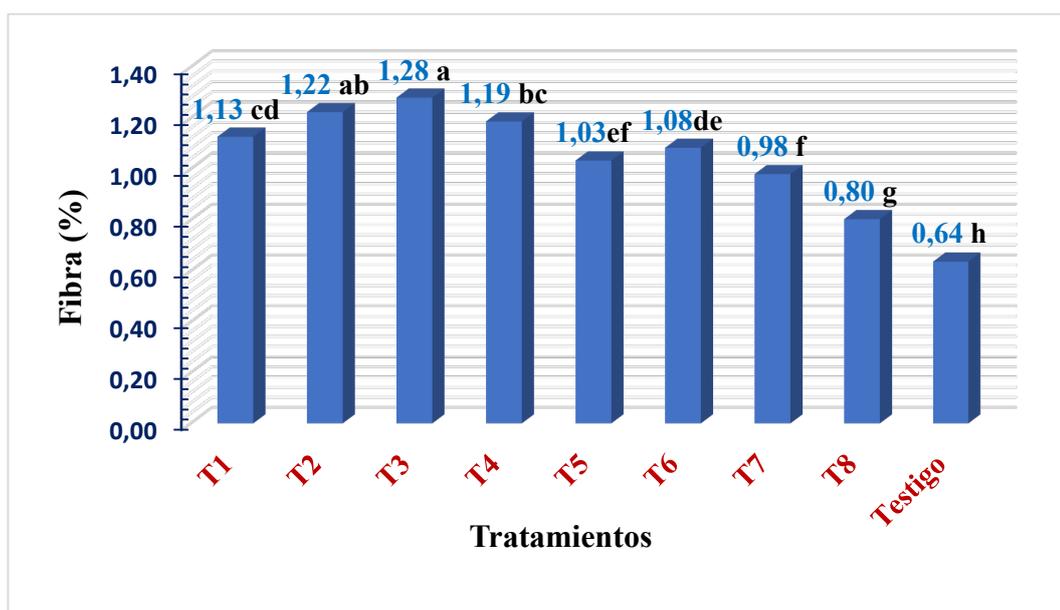


Figura 15. Contenido de Fibra en los tratamientos

La Figura 15 muestra el contenido de fibra presente en cada uno de los tratamientos y el testigo, donde se observa que los tratamientos **T1**, **T2**, **T3**, **T4** tienen un alto valor con respecto a los demás, estos altos contenidos se obtienen conforme se incorporó griz de fréjol y camote al 15% a la formulación. En cuanto al **testigo** presentó un menor contenido de fibra por su composición (100% maíz). Mian & Galen (2012) mencionaron en un estudio, que en la extrusión es recomendable que la adición de la fibra no sea superior al 5%, ya que podría causar un impacto perjudicial en el índice de expansión. Dada la condición anterior, se concluye que el contenido de fibra presente en las formulaciones, no tuvo mayor efecto en los productos extruidos, ya que todos los tratamientos son inferiores al 2%.

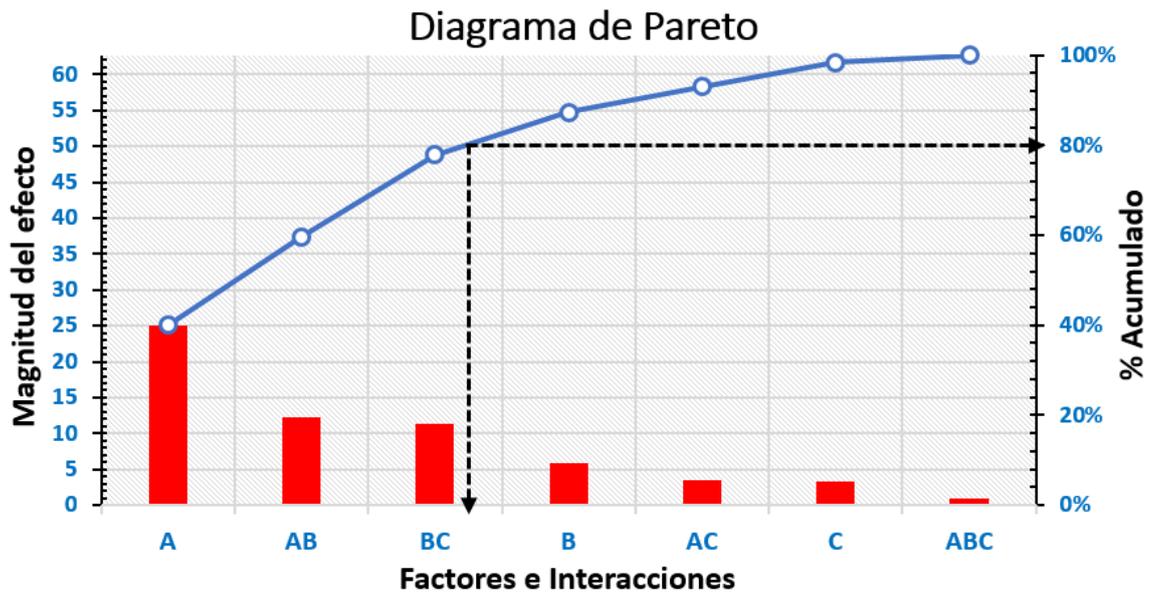


Figura 16. Factores e Interacciones que afectaron en la variable fibra

La Figura 16 indica que el factor **A** (formulación de la mezcla) y las interacciones **AB** (formulación de la mezcla vs humedad) y **BC** (humedad de la mezcla vs temperatura de extrusión) mostraron mayor magnitud del efecto sobre el contenido de fibra de los tratamientos.

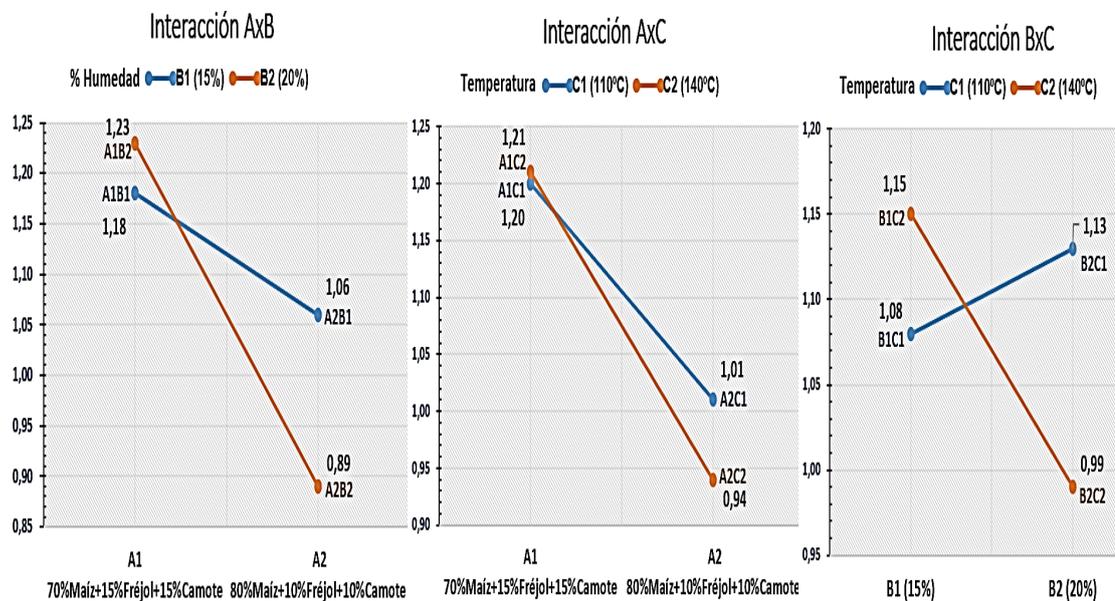


Figura 17. Interacción **AB** (formulación de la mezcla vs humedad de mezcla), **AC** (formulación de la mezcla vs temperatura de extrusión), **BC** (humedad de la mezcla vs temperatura de extrusión), en el contenido de fibra.

En la figura 17 se aprecia los tres tipos de interacciones del contenido de fibra de los productos extruidos expandidos, donde se observa que a mayor adición de fréjol y camote en las formulaciones (70% maíz + 15% fréjol + 15% camote), a una humedad de mezcla de 15% y sometida a una temperatura de 140°C en la cámara de extrusión, el contenido de fibra incrementa.

4.2.6 CONTENIDO DE CARBOHIDRATOS

En la Figura 18 se puede apreciar el contenido de carbohidratos de los productos extruidos de los diferentes tratamientos en estudio, donde se observa valores que oscilan entre 78,45% a 83,61%, valores inferiores al testigo (100% maíz) que presenta un valor de 85,44%.

Los resultados del análisis de varianza (Tabla 25) reflejan que tanto los tratamientos, los factores **A** (formulación de la mezcla), **B** (humedad de la mezcla), e interacciones **AC** y **BC**, influyen de manera altamente significativa ($p \leq 0.01$). Mientras que, el factor **C** (temperatura de extrusión) y la interacción **AB**, son significativos al ($\alpha < 0.05$) en el contenido de carbohidratos del producto extruido.

Por tanto, al existir diferencias entre los contenidos de carbohidratos de los tratamientos se realizó la prueba de Tukey al 5%. Donde se determinó que el tratamiento **T3**, **T2** (70% maíz + 15% fréjol + 15% camote) y **T8** (80% maíz + 10% fréjol + 10% camote), registraron el menor contenido de carbohidratos. Por lo tanto, se ubicaron en los primeros rangos (**a** y **b**). Mientras, que el **testigo** se ubicó en el último rango (**f**) por presentar el valor más alto (85,44%) en esta variable.

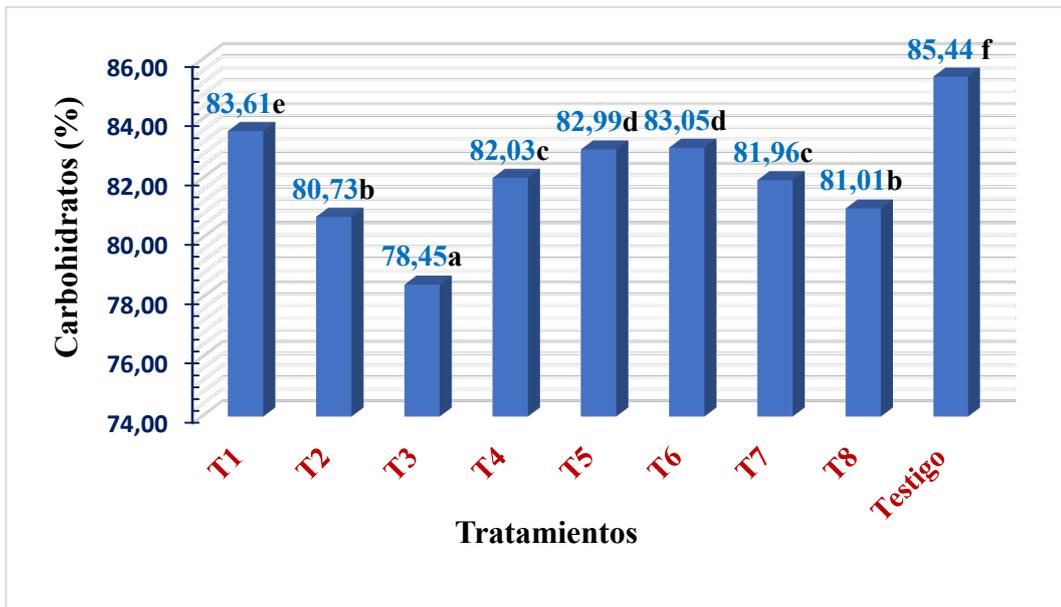


Figura 18. Contenido de carbohidratos en los tratamientos

Los resultados promedio reportados en los productos extruidos permiten apreciar que el testigo (100% maíz) presenta el mayor contenido de carbohidratos con relación a los demás tratamientos. Esto se debe a que la fracción de hidratos de carbono está constituida principalmente por almidón del maíz que contiene un alto porcentaje, que corresponde al 75% del peso del grano (Muños, 2012).

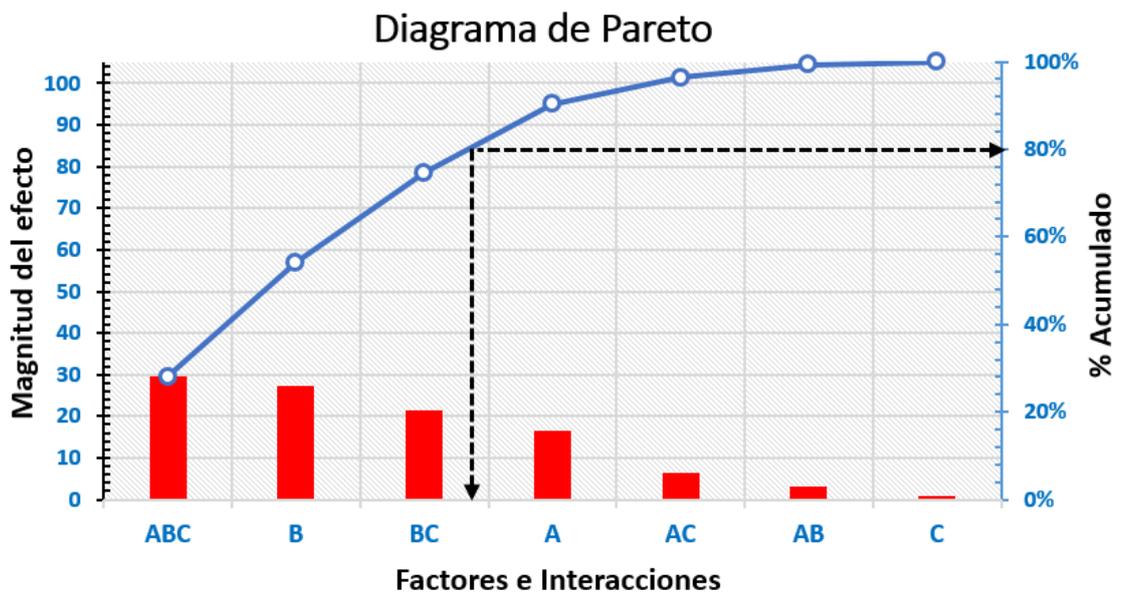


Figura 19. Factores e Interacciones que influyeron en la variable Carbohidratos

En cuanto a la variable carbohidratos, el factor e interacción que más influyen sobre los productos extruidos son el **B** (humedad de la mezcla) y **BC** (humedad de la mezcla vs temperatura de extrusión). Los resultados obtenidos son consistentes con el estudio realizado por los autores Lezcano & Cuggino (2002) donde afirman que los gránulos de almidón necesitan de humedad y altas temperaturas para lograr la gelatinización, proceso indispensable para la calidad de los productos extruidos, ya que cuando se someten al calor en presencia de agua los gránulos de almidón alcanzan un punto donde la hinchazón es irreversible y la estructura cristalina nativa se vuelve amorfa y el almidón total más soluble, favoreciendo la expansión.

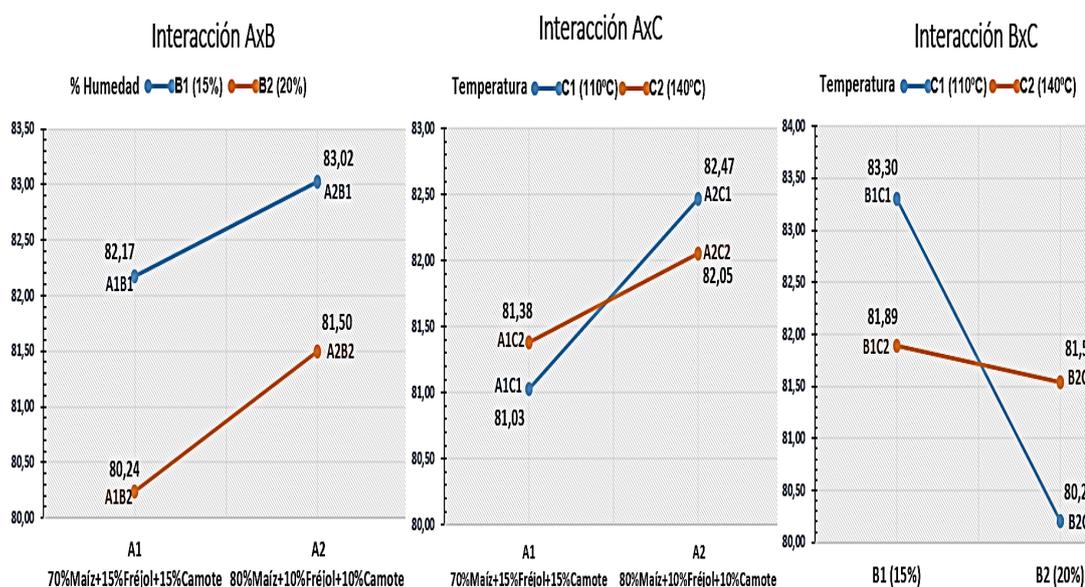


Figura 20. Interacción **AB** (formulación de la mezcla vs humedad de mezcla), **AC** (formulación de la mezcla vs temperatura de extrusión), **BC** (humedad de la mezcla vs temperatura de extrusión), en el contenido de carbohidratos

La Figura 20 indica la interacción **AB** (formulación de la mezcla vs humedad de la mezcla) en la variable carbohidratos, la cual muestra que el nivel más bajo se obtienen cuando se trabaja con el factor **A1** (70% maíz + 15% fréjol + 15% camote) aplicando el factor **B2** (20% humedad), por el contrario, si se trabaja a una humedad inferior a estos valores se incrementará este contenido.

Así mismo, en la interacción **AC** (formulación de la mezcla vs temperatura de extrusión), se observa que el más bajo punto en el contenido de carbohidratos es cuando interviene el factor **A1** a una temperatura de 110°C.

Por otro lado, la interacción **BC** (humedad de la mezcla vs temperatura de extrusión) se puede ver que cuando se trabaja con el factor **B2** (20% humedad) a una temperatura de extrusión de 110°C, se obtiene un 80.20% de carbohidratos presentes en el producto extruido, siendo este valor el más bajo. Por lo que se puede concluir que el mejor tratamiento **T3** (70% maíz + 15% fréjol + 15% camote; 20% humedad; 110°C).

Tabla 26. Resumen del análisis Físico-químico de los productos extruidos.

Trat.	Variables					
	Humedad	Cenizas	Proteína	Grasa	Fibra	Carbohidratos
T1	5,80±0,08 ^c	1,36±0,02 ^a	8,73±0,04 ^e	0,50±0,01 ^b	1,13±0,04 ^{cd}	83,61±0,10 ^e
T2	5,05±0,03 ^a	1,33±0,04 ^{ab}	12,48±0,26 ^a	0,42±0,00 ^a	1,22±0,02 ^{ab}	80,73±0,25 ^b
T3	9,49±0,03 ^g	1,25±0,01 ^{bc}	10,41±0,16 ^b	0,41±0,01 ^a	1,28±0,03 ^a	78,45±0,12 ^a
T4	7,66±0,03 ^e	1,18±0,09 ^c	8,72±0,10 ^e	0,40±0,00 ^a	1,19±0,02 ^{bc}	82,03±0,04 ^c
T5	5,52±0,03 ^b	1,20±0,01 ^c	9,76±0,02 ^{cd}	0,54±0,01 ^c	1,03±0,02 ^{ef}	82,99±0,02 ^c
T6	5,39±0,01 ^b	1,07±0,03 ^d	9,95±0,04 ^c	0,53±0,00 ^c	1,08±0,02 ^{de}	83,05±0,05 ^d
T7	7,07±0,09 ^d	1,07±0,02 ^d	9,38±0,13 ^d	0,53±0,00 ^c	0,98±0,02 ^f	81,96±0,20 ^d
T8	8,02±0,08 ^f	0,99±0,01 ^d	9,47±0,04 ^d	0,50±0,00 ^b	0,80±0,02 ^g	81,01±0,11 ^b
Testigo	5,13±0,05 ^a	0,57±0,01 ^e	8,32±0,21 ^e	0,54±0,02 ^c	0,64±0,01 ^h	85,44±0,28 ^f
CV	0,84	3,23	1,42	1,67	2,06	0,19

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

4.3 DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES DE LOS PRODUCTOS EXTRUIDOS

La tabla 27 hace referencia al análisis de varianza de las propiedades funcionales evaluadas en los productos extruidos como son: índice de expansión, densidad aparente, índice de absorción de agua (IAA) e índice de solubilidad de agua (ISA). Donde establece diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) tanto en los tratamientos como en los factores **B** (humedad de la mezcla), **C** (temperatura de extrusión) y las interacciones **AB** (formulación de la mezcla vs humedad de la mezcla) y **AC** (formulación de la mezcla vs temperatura de extrusión).

Tabla 27. Análisis de Varianza de las propiedades funcionales del producto extruido

Fuente de Variación	Índice de Expansión	Densidad Aparente	Índice de Absorción de Agua	Índice de Solubilidad de Agua
	F-valor	F-valor	F-valor	F-valor
Tratamientos	1553,33 **	2828,08 **	66,83 **	54,89 **
A	1738,93 **	5123,16 **	2,95 ns	32,89 **
B	4899,23 **	9442,02 **	301,09 **	247,69 **
C	666,47 **	1578,60 **	128,36 **	5,68 *
AB	240,42 **	850,76 **	17,28 **	17,70 **
AC	166,12 **	434,11 **	12,68 **	6,81 *
BC	1160,36 **	1266,48 **	4,38 ns	19,60 **
ABC	80,26 **	2083,01 **	54,94 **	3,43 ns
C.V	0,59	0,89	2,00	1,99

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

El factor **A** (formulación de la mezcla) y la interacción **BC** (humedad de la mezcla vs temperatura de extrusión), presentaron diferencias altamente significativas ($p \leq 0.01$) en las variables: índice de expansión y densidad aparente. Mientras que, en los índices de absorción y solubilidad de agua no mostraron diferencias estadísticamente significativas.

Dado que el resultado de los tratamientos, muestran una variación altamente significativa ($p \leq 0.01$) en todas las propiedades funcionales, se procede a realizar la prueba de Tukey al 5%.

4.3.1 ÍNDICE DE EXPANSIÓN

En la Figura 21 se presenta el índice de expansión de los productos extruidos, donde se registran valores entre 4,31mm a 5,17mm, encontrándose los valores más altos en los tratamientos obtenidos de la formulación de 80% maíz + 10% fréjol + 10% camote.

Los resultados del análisis de varianza (Tabla 27) reflejan que tanto los tratamientos como los factores **A** (formulación de la mezcla), **B** (humedad de la mezcla), **C** (temperatura de extrusión) e interacciones **AB**, **AC**, **BC**, influyen significativamente ($p \leq 0.01$) en el índice de expansión del producto extruido expandido.

Por lo tanto, al existir diferencias estadísticas entre los índices de expansión de los tratamientos, se realizó la prueba de Tukey al 5%. Donde se determinó nueve rangos, en el que el **testigo** (100% maíz) presentó mayor grado de expansión (5,37mm). Por lo tanto se ubicó en el rango (**a**). Asimismo los tratamientos **T5** y **T6** elaborados a partir de la mezcla de 80% maíz + 10% fréjol + 10% camote con 15% humedad y extruidos a 110°C y 140°C, respectivamente, registraron altos rangos en el IE con relación a los demás tratamientos, por lo que se ubicaron en los rangos (**b** y **c**), con valores de 5,17mm y 5,02mm.

Sin embargo, el tratamiento **T4** (70% maíz + 15% fréjol + 15% camote) con 20% humedad y extruido a 110°C, registró el índice de expansión más bajo. Por lo tanto, se ubicó en el último rango (**i**), con un valor 3,57mm.

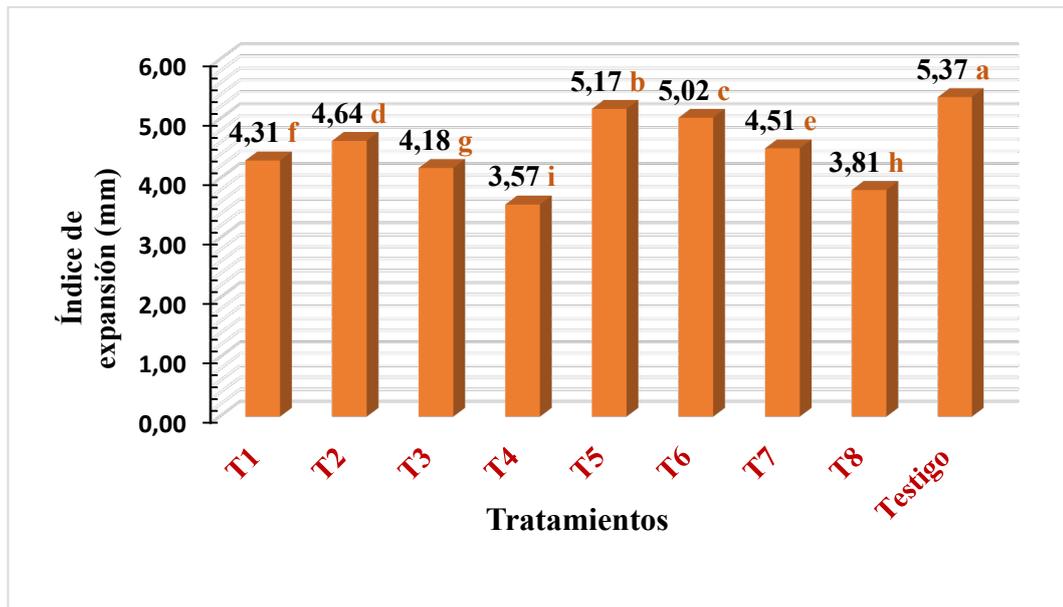


Figura 21. Índice de expansión de los tratamientos

Una de las características de calidad más deseadas en los productos extruidos es el nivel de expansión, ya que esto permite que ocupen un mayor volumen en los empaques, con un menor peso de producto, lo que es favorable para la industria.

En la Figura 21 se presenta el índice de expansión para los diferentes tratamientos en estudio, los cuales revelan que este índice está influenciado por el nivel de sustitución de maíz en la mezcla y la interacción de este factor con la humedad de acondicionamiento y la temperatura de extrusión (Figura 22).

El mayor grado de expansión se obtuvo con la mezcla de 100% maíz, correspondiente al **testigo**, seguido de los tratamiento **T5** (80% maíz + 15% fréjol + 15% camote) y **T6** (80% maíz + 15% fréjol + 15% camote). Además se observa que al aumentar el contenido de maíz a las formulaciones, los productos extruidos tienen una mayor expansión. Con base en los resultados obtenidos Lezcano & Cuggino (2002) indicaron en su investigación que el contenido mínimo de almidón que deber tener una mezcla es del 60-70% para conseguir una buena expansión, por lo tanto al aumentar el contenido de almidón se obtiene un producto de una densidad aparente más ligera mejorando también su nivel de expansión. Así mismo Torres & Pérez (2006) consideran que para tener un producto extruido muy inflado y

quebradizo es conveniente que la materias primas tengan de 5 a 20% de amilosa en su mezcla (Tabla 23).

Según el análisis Tukey ($p \leq 0.05$), existen diferentes rangos para cada uno de los tratamientos, registrando diferencias estadísticamente significativas entre ellos. Donde el rango **a** corresponde al **testigo** (100% maíz) siendo este el mejor por presentar un mayor índice de expansión con relación a los demás tratamientos en estudio que tienen una expansión menor siendo esto desfavorable ya que de acuerdo a una investigación realizada por Ainsworth et al. (2007) observaron una disminución en la expansión a niveles en el que se adicionaba granos con composiciones nutricionales que reducían el contenido de almidón en la formulación de la mezcla total.

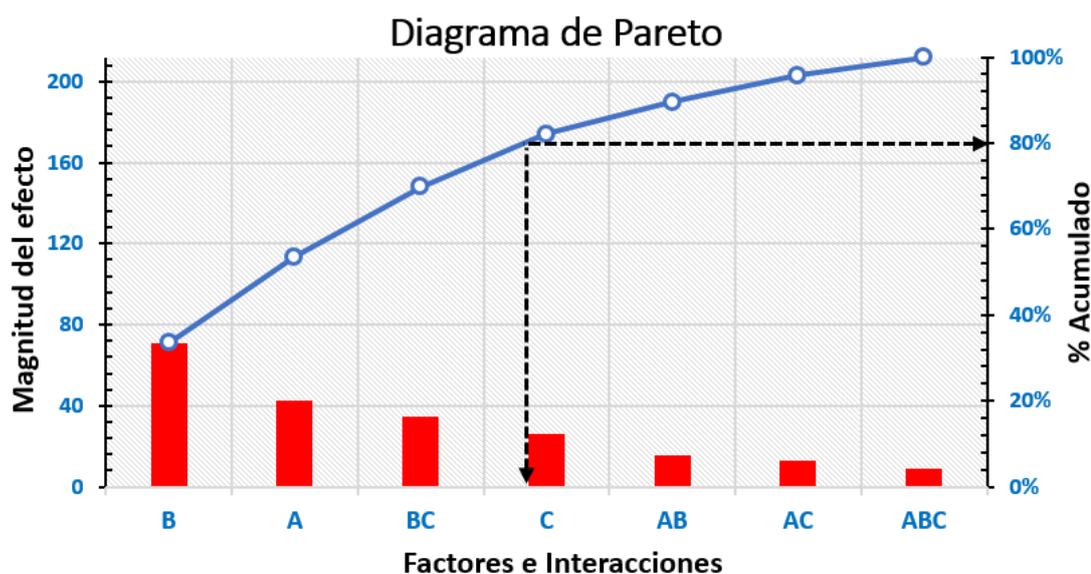


Figura 22. Factores e Interacciones que influyeron en el índice de expansión

La figura 22 muestra el análisis de Pareto, el cual expresa que los factores **A** (formulación de la mezcla), **B** (humedad de la mezcla) y la interacción **BC** (humedad de la mezcla vs temperatura de extrusión), influyen en mayor magnitud sobre el índice de expansión de los productos extruidos. Ramachandra & Thejaswini (2015), afirman en su investigación que la expansión de un producto extruido está inversamente ligada con la humedad de la mezcla y directamente

relacionada con el incremento de la temperatura en la cámara de extrusión. La expansión aumenta cuando la temperatura supera los 100°C y el contenido de humedad del material está cerca del 20%, debido a una viscosidad baja, lo que permite una expansión más rápida de la masa fundida, por otro lado a bajas temperaturas de proceso, la expansión se reduce porque el almidón no es completamente fundido.

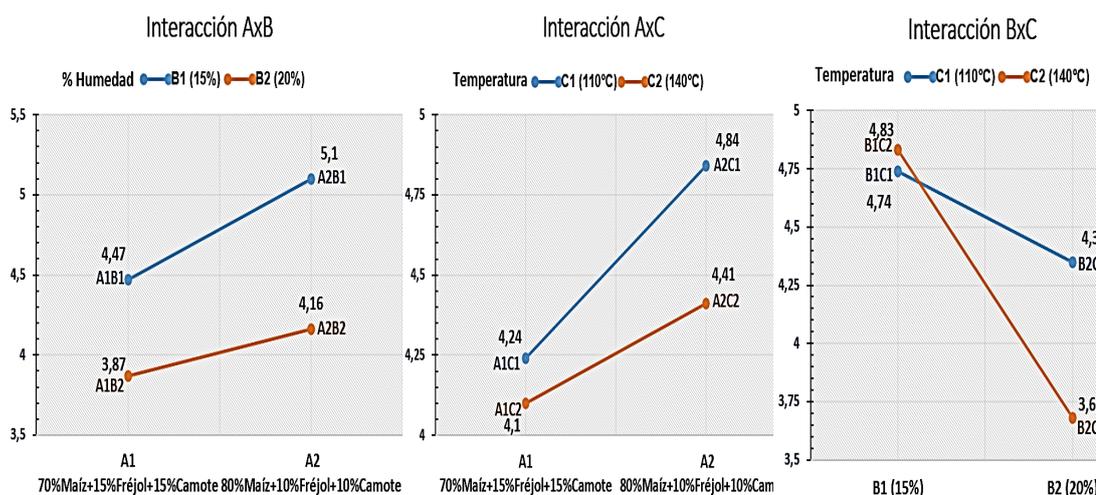


Figura 23. Interacción AB (formulación de la mezcla vs humedad de mezcla), AC (formulación de la mezcla vs temperatura de extrusión), BC (humedad de la mezcla vs temperatura de extrusión), en el índice de expansión.

En la Figura 23 se presenta la interacción **AB**, en la cual se puede interpretar que el mayor índice de expansión de los productos extruidos se obtiene cuando la humedad de la mezcla es 15%. Dichos resultados lo confirma Guy (2002), que expresa que los bajos niveles de humedad en la masa tienen efectos positivos en la viscosidad aparente, la expansión y la resistencia a la ruptura del producto extruido. Asimismo, Ding, et al. (2005) afirma que el incremento del contenido de humedad durante la extrusión, cambia la estructura molecular de la amilopectina del material, lo que reduce la elasticidad de la masa fundida disminuyendo así la expansión y por ende aumenta la densidad aparente del producto extruido.

Con respecto a la interacción **AC**, cuando las formulaciones de las mezclas son sometidas a una temperatura de extrusión de 110°C, el grado de expansión de los productos extruidos es mayor. Mientras que cuando estas formulaciones son tratadas a 140°C, esta expansión tiende a decrecer.

En la interacción **BC** se puede observar que cuando la mezcla es acondicionada a 15% de humedad y extruida a temperaturas de 110°C y 140°C, el índice de expansión de los productos extruidos aumenta, ya que en este proceso, la temperatura juega un papel importante en el cambio de propiedades reológicas de los extruidos y a su vez beneficia o afecta el volumen de expansión. (Moraru & Kokini, 2003). Así también, Moscicki (2011) indicó que la expansión aumenta al incrementar la temperatura de barril, atribuyéndose la gelatinización del almidón y el fortalecimiento de la estructura del snack.

4.3.2 DENSIDAD APARENTE

La densidad aparente de los productos extruidos obtenidos a partir de los tratamientos en estudio, se observa en la Figura 24, donde se distingue densidades entre 0,26 g/cm³ a 0,58 g/cm³, observándose valores más bajos en los tratamientos obtenidos de mezclas acondicionadas con una humedad de 15%.

Los resultados del análisis de varianza (Tabla 27), reflejan que tanto los tratamientos como los factores **A** (formulación de la mezcla), **B** (humedad de la mezcla), **C** (temperatura de extrusión) e interacciones **AB**, **AC**, **BC**, influyen significativamente ($P \leq 0.05$) en la densidad aparente del producto extruido.

Mediante la prueba de Tukey al 5%, se determinó ocho rangos, donde el tratamiento **T5** (80% maíz + 15% fréjol + 15% camote) con 15% humedad y extruido a 110° de temperatura, se ubicó en el rango (**a**) como el mejor, ya que presenta el valor más bajo (0,26g/cm³). Mientras que el **testigo** (100% maíz) y el tratamiento **T6** (80% maíz + 15% fréjol + 15% camote) con 15% humedad y extruido a 140°C, se ubicaron en el rango (**b**), con valores similares de 0,28g/cm³ y 0,29g/cm³, respectivamente.

Por otra parte, el tratamientos **T4** (70% maíz + 10% fréjol + 10% camote) con 20% humedad y extruido a 140°C, registró una densidad aparente superior a los demás tratamientos, Por lo que se ubicó en el último rango (**h**), con un valor de 0,58g/cm³.

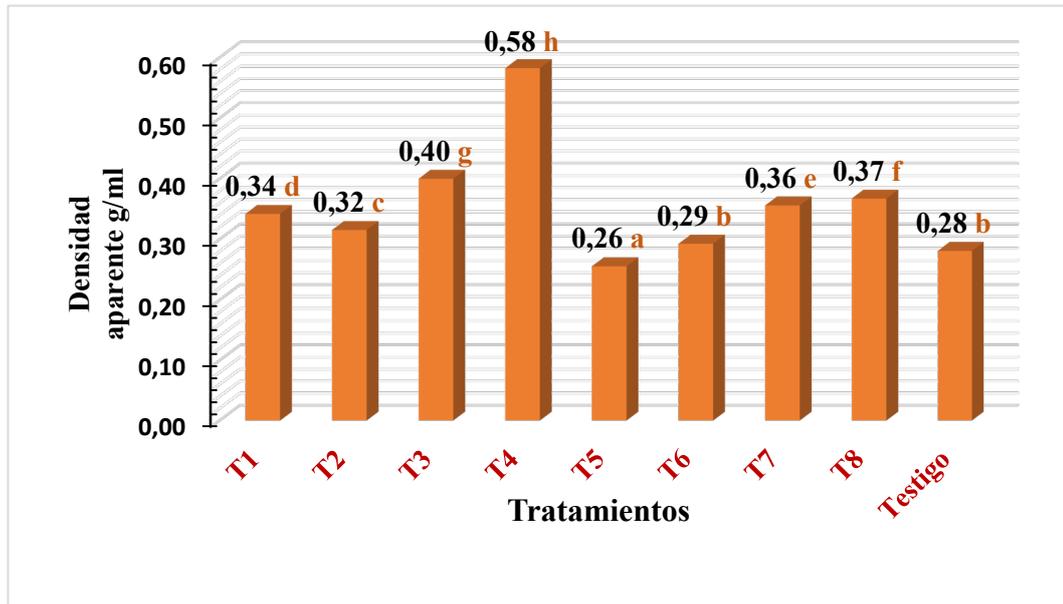


Figura 24. Densidad Aparente de los tratamientos

La densidad aparente está directamente relacionada con el grado de expansión de los extruidos y es un parámetro muy importante en la producción de productos expandidos, mientras más bajo sea este valor, la calidad y las características del producto serán mejores (Maskan & Altan, 2011).

En la Figura 24 se presentan los valores promedios de la densidad aparente en cada uno de los tratamientos en estudio. Obteniendo como los mejores al **T5** (0,26 g/ml), **T6** (0,29 g/ml) y **testigo** (0,28 g/ml), observándose los valores más bajos en los tratamientos tratados menor contenido de humedad (15%), al respecto Patil et al., (2017) indican que valores altos de densidad aparente en snacks extruidos, refleja mayor dureza del snack.

Sin embargo los tratamientos **T1**, **T2**, **T3** y **T4** presentan mayor valor en la densidad aparente con relación a los demás, debido a la mayor adición de camote a la formulación (15%), ya que según Oladebeye & Oshodi (2009) el tipo de almidón que posee este tubérculo contiene alta cantidad de amilosa y un valor de amilopectina considerable, esto hace que tenga alto poder de absorción, densidad y viscosidad. Por el contrario los tratamientos **T5**, **T6**, **T7**, **T8** y **testigo** al contener mayor contenido de maíz en la formulación (80%), la densidad aparente es menor,

debido a que este almidón forma una estructura porosa altamente expandida. Por lo tanto, al aumentar su concentración disminuye la densidad del producto expandido (Maskan & Altan, 2011).

Una investigación realizada por Valenzuela (2017) ha reportado que la densidad aparente es inversamente proporcional al índice de expansión y que esta respuesta es afectada por la formulación de ingredientes, la temperatura, la humedad y velocidad de tornillo del extrusor.

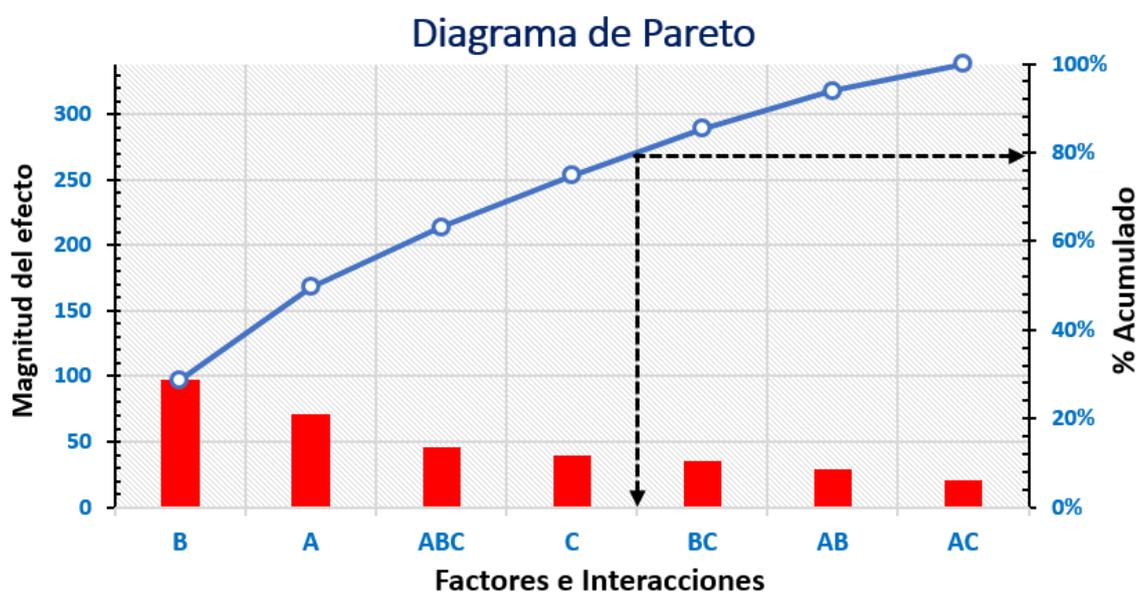


Figura 25. Factores e Interacciones de la densidad aparente

En la figura 25 se analiza el diagrama de Pareto de los factores e interacciones que influyen en la densidad aparente de los productos extruidos, el cual expresa que los factores: **A** (formulación de la mezcla), **B** (humedad de la mezcla) y **C** (temperatura de extrusión) influyen significativamente ($p \leq 0.01$) sobre en las características del producto. Revelo, (2010), expresó que la densidad aparente es una propiedad muy importante en la característica final de los productos extruidos, en forma indirecta se correlaciona con propiedades estructurales (forma y tamaño de las células de aire, estructura fibrosa) y sensoriales. Además refleja el comportamiento del equipo y las condiciones de trabajo como humedad, presión y temperatura. Esta variable es un indicativo del volumen del producto final o expansión.

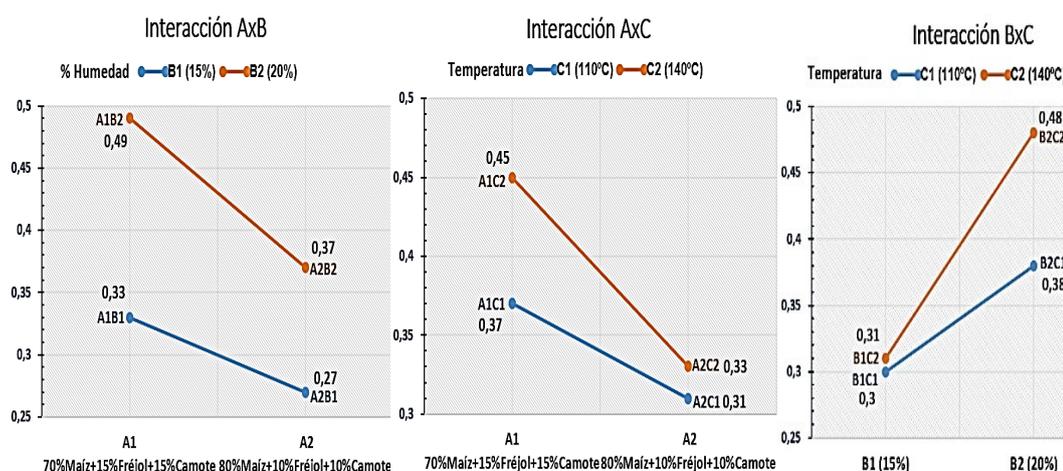


Figura 26. Interacción AB (formulación de la mezcla vs humedad de mezcla), AC (formulación de la mezcla vs temperatura de extrusión), BC (humedad de la mezcla vs temperatura de extrusión), en la densidad aparente.

En la Figura 26 se muestra la interacción **AB**, donde se observa que las bajas densidades de los productos extruidos se dan cuando la adición de maíz (80% maíz+10% fréjol+10% camote) es mayor en la formulación y esta a su vez es acondicionada a 15% de humedad. Dichos resultados permiten afirmar lo dicho por Huber (2010), que cuando el producto sobrepasa el 15% de humedad la densidad aparente aumenta. Asimismo, en la interacción **AC**, se presenta menor densidad cuando la formulación contiene mayor contenido de maíz (80% maíz) y es extruida a 110°C de temperatura.

Asimismo, la interacción **BC** presenta bajas densidades en los tratamientos, cuando la humedad de acondicionamiento de la mezcla es de 15%, independientemente del nivel de temperatura con el que se trabaje, ya que durante la extrusión en caliente se utiliza un sistema de calefacción, el cual hace que la temperatura aumente, permitiendo obtener productos con poca densidad (Gimferrer, 2009).

4.3.3 ÍNDICE DE ABSORCIÓN DE AGUA (IAA)

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 observa que los valores oscilan entre 4,16 g gel/g muestra a 5,61 g gel/g muestra.

Los resultados del análisis de varianza (Tabla 27) reflejan que tanto los tratamientos como los factores **B** (humedad de la mezcla), **C** (temperatura de extrusión) y las

interacciones **AB**, **AC**, influyen significativamente ($p \leq 0.01$) sobre el índice de absorción de agua (IAA) del producto extruido.

La prueba de Tukey al 5%, determinó que el tratamiento **T2** y **T6**, acondicionados a 15% de humedad en la mezcla, registraron valores bajos de IAA de 5,01g gel/g muestra y 5,07g gel/g muestra, respectivamente, con relación a los demás tratamientos en estudio. Por tanto, se ubicaron en el rango (**a**), ya que no presentan diferencia significativa. Asimismo los tratamientos **T5** y **testigo**, acondicionados con 15% de humedad en la mezcla se ubicaron en el rango (**b**).

Por otra parte, el tratamiento **T7** (80% maíz + 10% fréjol + 10% camote) con 20% humedad y extruidos a 110°C, registró el mayor valor en el IAA con relación a los demás tratamientos. Por lo tanto se ubicó en el último rango (**d**), con un valor de 6,78g gel/g muestra.

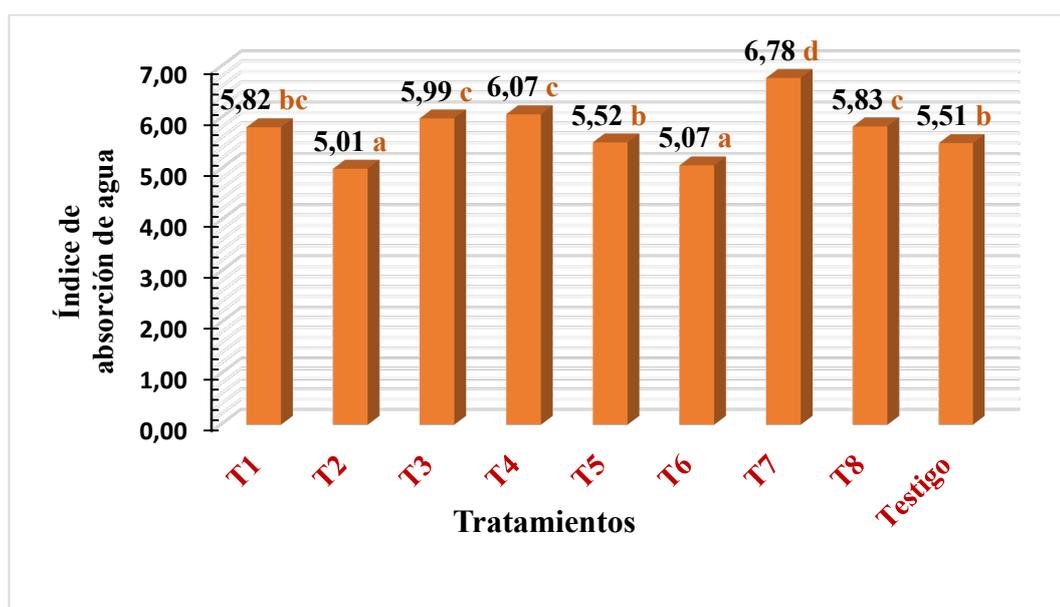


Figura 27. Índice de Absorción de Agua en los tratamientos

El índice de absorción de agua (IAA) e índice de solubilidad de agua (ISA), son propiedades utilizadas para estimar las características funcionales de los productos extruidos desarrollados a partir de subproductos tales como harinas o griz (Maskan & Altan, 2011).

En la Figura 27 se muestran los valores promedio del IAA de cada uno de los tratamientos en estudio. La condición deseable para este tipo de productos es un

bajo IAA que según un estudio realizado por Mercier et al., (2000), el valor del índice de absorción de agua para extruidos elaborados a base de maíz fluctúa entre 4,8 g gel/g muestra y 7,6 g gel/g muestra. Los resultados obtenidos se encuentran en un rango de 5,01 g gel/g muestra a 6,78 g gel/g muestra. Por tanto se encuentran dentro de los valores permitidos.

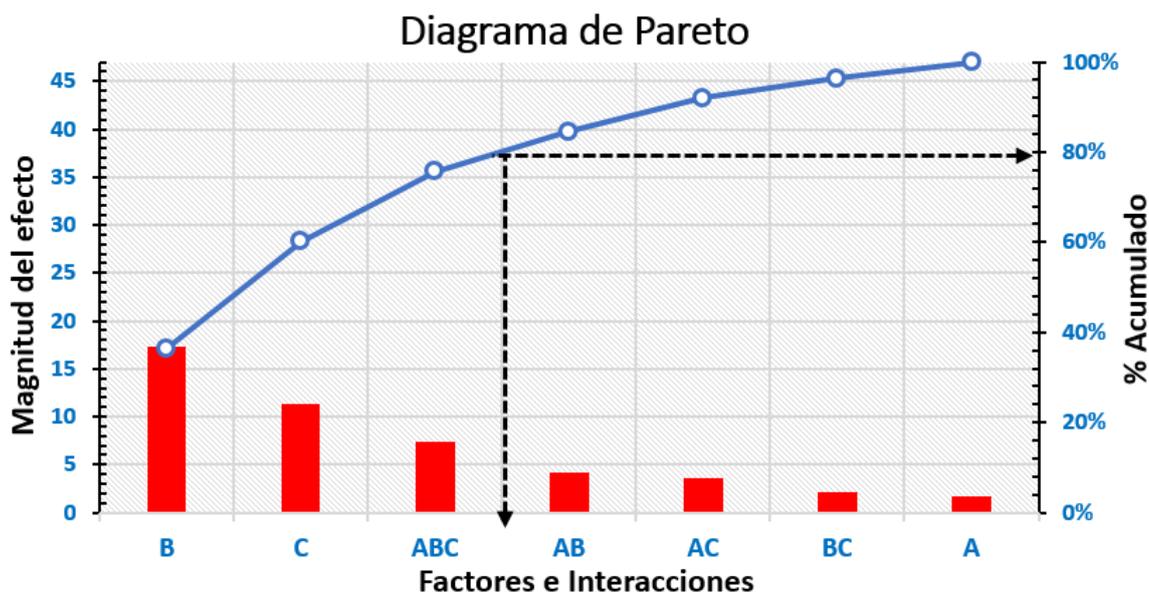


Figura 28. Factores e Interacciones que influyen en el Índice de absorción de agua

La Figura 28 muestra el análisis del diagrama de Pareto del índice de absorción de agua (IAA) de los tratamientos, donde se puede apreciar que los factores **B** (humedad de la mezcla) y **C** (temperatura de la extrusión) tienen mayor efecto sobre las características de los productos extruidos. Esto se debe a que el menor contenido de humedad y las altas temperaturas causan la gelatinización del almidón y aumenta la viscosidad del producto, alcanzando bajos IAA y altos ISA, hecho que se atribuye a la modificación del almidón (Guy, 2002). Así mismo Seth, Badwaik, Ganapathy, (2015) en su investigación ratifica lo antes mencionado, en donde explica que a mayor contenido de humedad en la mezcla, la viscosidad del almidón es baja permitiendo que las moléculas de almidón se muevan libremente, mejorando así la penetración de calor, como resultado se produce una mayor gelatinización. Además, Sobukola, Babajide, y Ogunsade (2013) indican que a mayor temperatura de extrusión, se rompe el gránulo de almidón y las moléculas absorben más agua, lo que resulta en un incremento en el IAA.

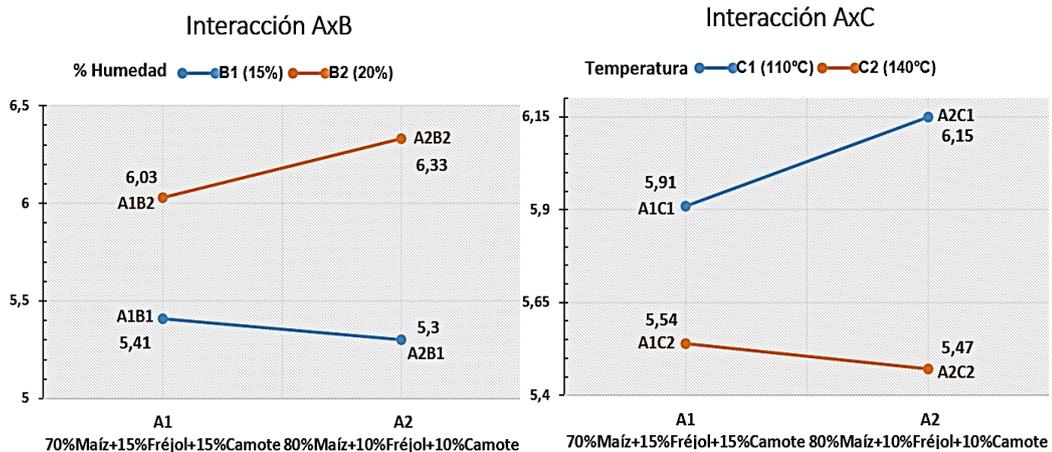


Figura 29. Interacción AB (formulación de la mezcla vs humedad de mezcla), AC (formulación de la mezcla vs temperatura de extrusión), en el índice de absorción de agua.

La interacción **AB** indica que para obtener productos extruidos con bajos IAA, se debe acondicionar a la mezcla con una humedad del 15%, ya que si esta tiende a elevarse la característica final de los productos extruidos sería desfavorable.

En cuanto a la interacción **AC**, se puede apreciar que los bajos valores de IAA que presentan los extruidos, es cuando la mezcla es extruida a 140°C de temperatura, esta disminución según Wang, Maximiuk, & Toews (2012) es principalmente por temperatura en la cámara de extrusión y el alto contenido de humedad ya que favorecen a la mezcla que se encuentra dentro del equipo, aumentando así la hinchazón de los gránulos y gelatinización del almidón lo que favorece la capacidad de absorción de agua del almidón y la vez aumenta la viscosidad del mismo.

4.3.4 ÍNDICE DE SOLUBILIDAD DE AGUA (ISA)

En la Figura 30 se presenta el índice de solubilidad de agua (ISA) de los productos extruidos, donde se registran valores entre 0,23g gel/g muestra a 0,29g gel/g muestra, encontrándose valores superiores en los tratamientos acondicionados con 15% de humedad en la mezcla.

Los resultados del análisis de varianza (Tabla 27) reflejan que tanto los tratamientos como los factores **A** (formulación de la mezcla), **B** (humedad de la mezcla), **C** (temperatura de extrusión) e interacciones **AB**, **AC**, **BC**, influyen significativamente ($p \leq 0.01$) sobre el ISA del producto extruido expandido.

Por lo tanto, al existir diferencias estadísticas entre los índices de expansión de los tratamientos, se realizó la prueba de Tukey al 5%. Donde se determinó cuatro rangos, en el que el tratamiento **T2** (70% maíz + 15% fréjol + 15% camote), con 15% de humedad y extruidos a 140°C y el **testigo** (100% maíz) presentaron mayor ISA. Por lo tanto se ubicó en el rango (**a**). Asimismo los tratamientos **T5** y **T6** elaborados a partir de la mezcla de 80% maíz + 10% fréjol + 10% camote con 15% humedad y extruidos a 110°C y 140°C, respectivamente, registraron valores similares a los mejores, por lo que se ubicaron en los rangos (**ab** y **b**).

Sin embargo, los tratamientos **T7** y **T8** elaborados a partir de la mezcla 80% maíz + 10% fréjol + 10% camote, con 20% humedad y extruidos a 110°C y 140°C, respectivamente, registraron valores inferiores con relación a los demás. Por lo tanto, se ubicaron en el rango (**d**), con un valor 0,23 g gel/g muestra.

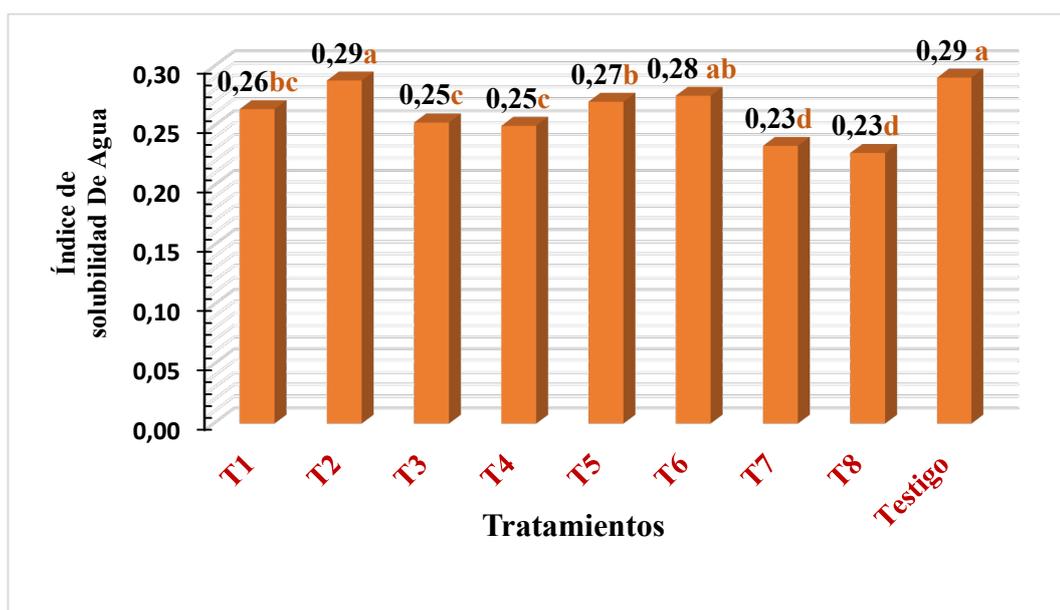


Figura 30. Índice de Solubilidad de Agua en los tratamientos

El valor del índice de solubilidad de agua (ISA) refleja la severidad del proceso, mismo que aumenta por modificaciones del almidón ocasionado por el proceso de molienda y por las condiciones térmicas durante la extrusión (Contreras, 2009).

En la Figura 30 se aprecia los valores de ISA para cada uno de los tratamientos en estudio. Donde el tratamiento **T2** (70% maíz + 15% fréjol + 15% camote), con 15% humedad y extruido a 140°C y el **testigo** (100% maíz), presentaron mayor índice de solubilidad (0,29%). Mientras, que los productos extruidos obtenidos de los tratamientos **T7** y **T8** mostraron el menor valor (0,23%).

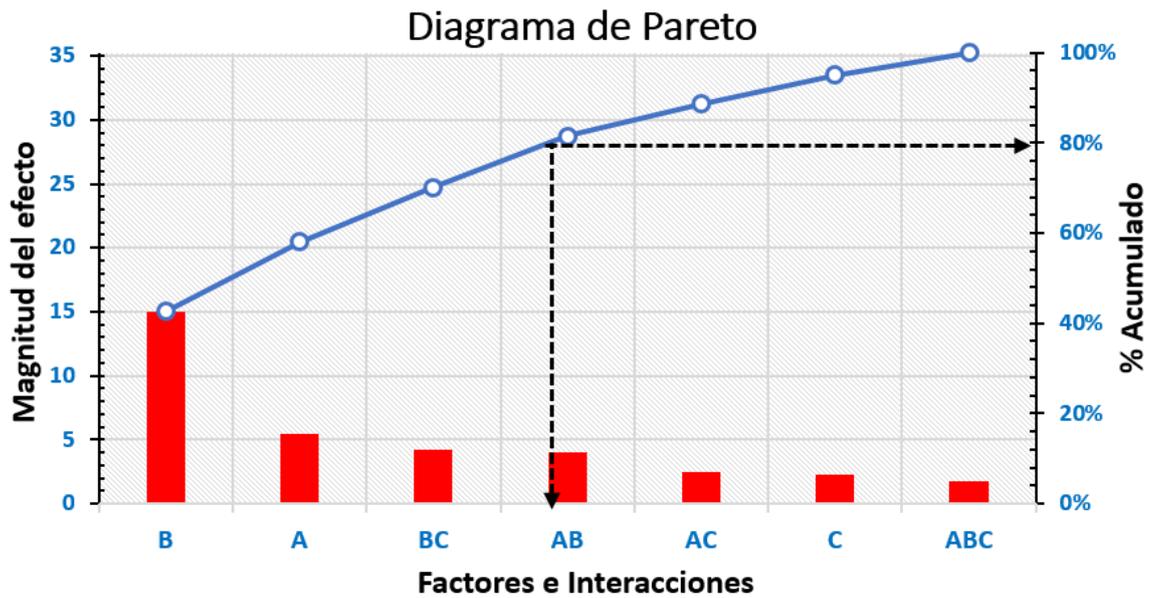


Figura 31. Factores e Interacciones que influyeron en el ISA

El índice de solubilidad de agua (ISA) brinda información sobre la degradación del almidón, mientras que la absorción de agua (IAA) está más relacionada con la capacidad de hinchamiento de los gránulos (Maskan & Altan, 2011).

El diagrama de Pareto (Figura 31) indica que tanto los factores **B** (humedad de la mezcla) y **A** (formulación de la mezcla) como la interacción **BC** (humedad de la mezcla vs temperatura de extrusión), muestran mayor efecto sobre el índice de solubilidad de agua de los tratamientos.

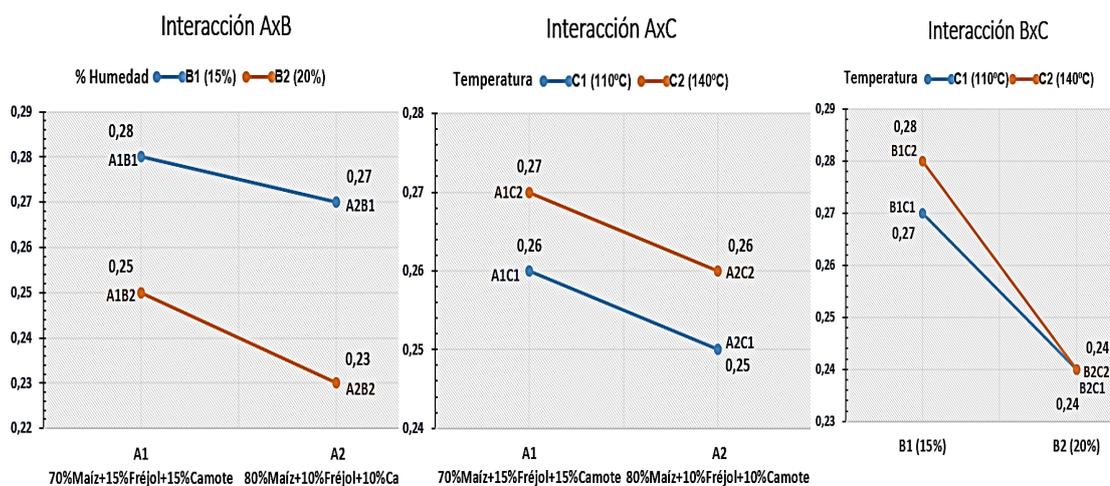


Figura 32. Interacción AB (formulación de la mezcla vs humedad de mezcla), AC (formulación de la mezcla vs temperatura de extrusión), BC (humedad de la mezcla vs temperatura de extrusión), en el índice de solubilidad de agua.

La Figura 32 muestra las interacciones de los factores que influyen sobre el ISA sobre las características de los productos extruidos. Donde la interacción **AB** indica que, para lograr mayor solubilidad en un producto, la mezcla debe ser acondicionada a 15% de humedad. Una influencia muy notable en las propiedades del producto es el porcentaje de amilosa y amilopectina (Moscicki, 2011).

En la interacción **AC** el ISA aumenta cuando las formulaciones son sometidas a temperaturas de 140°C durante el proceso de extrusión ya que Moscicki (2011), expresa que la solubilidad de muchos productos elaborados a base de almidón aumenta al incrementar la temperatura en el cilindro del extrusor.

En el orden de lo antes mencionado se concluye que la interacción **BC** llega a niveles superiores de ISA al acondicionar la mezcla al 15% de humedad en la mezcla, independientemente de la temperatura que se utilice al extruir.

4.4 ANÁLISIS DE PERFIL TEXTURA DE PRODUCTO EXTRUIDOS

4.4.1 TEXTURA SENSORIAL DESCRIPTIVA

La Tabla 28 indica el análisis de varianza de la textura descriptiva: dureza, crujencia, resistencia a la ruptura y adherencia. Donde, los tratamientos presentan una diferencia estadística altamente significativa ($p \leq 0.01$) en los atributos evaluados. Mientras, en los panelistas no presentaron diferencias estadísticas, a excepción de la dureza, debido posiblemente a que faltó más entrenamiento o al cansancio de los panelistas durante la evaluación.

Tabla 28. Análisis de Varianza de la de textura descriptiva de los productos extruidos

Fuentes de Variación	G.L	Dureza	Crujencia	Resistencia a la ruptura	Adherencia
		F-valor	F-valor	F-valor	F-valor
Total	89				
Tratamientos	8	84,82 **	80,77 **	32,76 **	44,54 **
Panelistas	9	1,97 *	1,49 ns	1,90 ns	0,76 ns
E. experimental	72				
CV (%)		8,85	8,88	11,29	12,70

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

Dadas las condiciones que anteceden, se puede concluir que los factores en estudio **A** (formulación de la mezcla), **B** (humedad de la mezcla) y **C** (temperatura de extrusión), influyeron significativamente ($p \leq 0.01$) sobre los atributos de textura sensorial descriptiva (dureza, crujencia, resistencia a la ruptura, adhesividad) de los productos extruidos expandidos.

En la Tabla 29 se presentan los valores promedios y rangos de la evaluación de los atributos de textura descriptiva de cada uno de los tratamientos.

Tabla 29. Rangos Tukey ($p \leq 0.05$) de los atributos de textura del producto extruido

Tratamiento	Dureza	Crujencia	Resistencia a la ruptura	Adherencia
T1	3,65 ± 0,41 ^{ab}	3,70 ± 0,34 ^{ab}	3,75 ± 0,42 ^{ab}	2,35 ± 0,41 ^a
T2	3,60 ± 0,39 ^a	3,60 ± 0,39 ^a	3,60 ± 0,31 ^{ab}	2,40 ± 0,31 ^a
T3	5,25 ± 0,35 ^c	5,25 ± 0,35 ^c	5,20 ± 0,53 ^c	3,40 ± 0,51 ^b
T4	6,20 ± 0,25 ^d	6,15 ± 0,33 ^d	5,75 ± 0,63 ^c	3,65 ± 0,24 ^b
T5	3,50 ± 0,33 ^a	3,50 ± 0,33 ^a	3,50 ± 0,47 ^{ab}	3,85 ± 0,53 ^b
T6	3,55 ± 0,43 ^a	3,55 ± 0,43 ^a	3,75 ± 0,42 ^{ab}	4,90 ± 0,52 ^c
T7	4,20 ± 0,48 ^b	4,25 ± 0,48 ^b	3,85 ± 0,47 ^{ab}	3,85 ± 0,62 ^b
T8	5,80 ± 0,34 ^{cd}	5,80 ± 0,34 ^{cd}	4,10 ± 0,56 ^b	4,70 ± 0,48 ^c
Testigo	3,25 ± 0,54 ^a	3,30 ± 0,48 ^a	3,25 ± 0,42 ^a	5,25 ± 0,54 ^c

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

A partir de las calificaciones otorgadas por los panelistas semi-entrenados, se determinó que el **testigo** (100% maíz) y los tratamientos con formulaciones de mezclas acondicionadas a 15% de humedad y extruidas a 140°C de temperatura, obtuvieron una mayor aceptabilidad en los atributos de dureza, crujencia y resistencia a la ruptura. Asimismo, se determinó que a medida que se sustituye el contenido de maíz por fréjol y camote, la dureza, crujencia y resistencia a la ruptura incrementan. Mientras, que la adherencia disminuye, debido al incremento de proteína en la mezcla Ramos Diaz et al., (2015), en su investigación afirmaron que los extruidos

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

4.4.2 TEXTURA INSTRUMENTAL

La textura puede ser medida por medios objetivos (instrumental) y pruebas subjetivas intrínsecas (sensoriales). El método de ensayo instrumental es el texturómetro, este dispositivo imita las condiciones de masticación y presentan excelentes correlaciones con evaluaciones sensoriales de la textura, por esta razón ha sido ampliamente utilizado para medir la textura de diferentes tipos de alimentos (Paula & Conti-Silva, 2014).

Asimismo, el análisis de textura instrumental en alimentos proporciona resultados rápidos y relativamente económicos sobre las características del producto y la aceptación del consumidor (Anton & Luciano, 2007).

En la Tabla 30 se presenta el análisis de varianza de las pruebas instrumentales tales como: compresión, punción, corte guillotina y corte "V". Donde indica que los tratamientos presentan alta diferencia significativa ($p \leq 0.01$) en todos los atributos evaluados. Por tanto, los factores **A** (formulación) **B** (humedad de la mezcla) y **C** (temperatura de extrusión), influyeron sobre las características de textura de los productos extruidos.

Tabla 30. Análisis de Varianza de textura instrumental del producto extruido

Fuente de variación	G.L	Compresión	Punción	Corte Guillotina	Corte "V"
		F-valor	F-valor	F-valor	F-valor
Total	89				
Tratamientos	8	10,02 **	71,46 **	58,56 **	35,48 **
E. experimental	81				
CV (%)		3,48	13, 57	7,73	9,61

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

En la Tabla 31 se presentan los valores promedios y rangos de la evaluación de los atributos de textura instrumental de cada uno de los tratamientos.

Tabla 31. Rangos Tukey ($p \leq 0.05$) de textura instrumental del producto extruido

Tratamiento	Compresión	Punción	Corte Guillotina	Corte "V"
T1	42,95 ± 1,41 ^{cd}	5,82 ± 0,56 ^d	14,53 ± 0,91 ^{bc}	15,79 ± 1,84 ^{bc}
T2	42,12 ± 1,37 ^{bc}	5,48 ± 0,74 ^{cd}	12,28 ± 1,20 ^a	14,22 ± 1,65 ^{ab}
T3	42,29 ± 1,39 ^{bc}	9,69 ± 1,02 ^f	20,21 ± 1,35 ^e	21,35 ± 1,84 ^d
T4	44,42 ± 0,67 ^d	8,72 ± 0,96 ^f	15,96 ± 1,04 ^{cd}	15,42 ± 1,37 ^b
T5	39,46 ± 1,32 ^a	4,02 ± 0,70 ^{ab}	12,01 ± 1,09 ^a	12,45 ± 1,02 ^a
T6	41,89 ± 1,38 ^{bc}	4,64 ± 1,02 ^{bc}	13,04 ± 1,70 ^{ab}	13,99 ± 0,95 ^{ab}
T7	43,17 ± 1,99 ^{cd}	5,78 ± 0,93 ^{cd}	16,08 ± 0,95 ^{cd}	15,36 ± 1,50 ^b
T8	43,22 ± 1,31 ^{cd}	7,38 ± 0,79 ^e	16,16 ± 1,04 ^d	17,64 ± 1,57 ^c
Testigo	40,67 ± 1,97 ^{ab}	2,91 ± 0,46 ^a	11,79 ± 0,51 ^a	12,32 ± 1,25 ^a

Xm/DS; Medias con distinta letra presentan diferencias estadísticas, de acuerdo a la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$).
Nota: Todos los resultados se expresan en Newtons (N).

En la Tabla 31 se presenta la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$), la misma que determinó que el **testigo** (100% maíz) y los tratamientos **T5** y **T6** elaborados a partir de la mezcla de 80% maíz + 10% fréjol + 10% camote y acondicionados al 15% de humedad, mostraron valores de fuerza (N) inferiores con relación a los demás tratamientos. Los valores de fuerza registrados en este estudio son similares a los reportados por Paula & Conti-silva (2014) y Conti-Silva, Bastos & Arêas (2012) en sus investigaciones, quienes compararon pruebas y sondas similares a las de este estudio en diferentes tipos de snacks extruidos.

4.4.3 CORRELACIÓN DE TEXTURA DESCRIPTIVA E INSTRUMENTAL

Se realizó un análisis de correlación de Pearson entre los cuatro atributos sensoriales de la textura (dureza, crujencia, resistencia a la ruptura y adherencia) y las cuatro pruebas instrumentales (compresión, punción, guillotina, corte “V”), usando el programa estadístico SPSS Statistic. Además, los resultados obtenidos de los análisis sensoriales e instrumentales fueron sometidos a un análisis de componentes principales (PCA).

El estudio de las correlaciones entre el análisis de textura descriptiva y textura instrumental, se realizó mediante la prueba de correlación de Pearson, sabiendo que el índice de correlación (r) varía en un intervalo de -1 a 1, donde: valores positivos cercanos a 1 representan una fuerte correlación entre las variables, es decir cuando una de ellas aumenta, la otra también lo hace de manera constante; mientras que valores negativos cercanos a -1 representan una fuerte correlación negativa entre las variables, es decir cuando una de ellas aumenta, la otra disminuye constantemente.

En la Tabla 32 se puede observar los índices de los coeficientes de correlación de Pearson entre textura sensorial descriptiva y las sondas de la textura instrumental, medidos en los productos extruidos expandidos.

Tabla 32. Coeficientes de correlación de Pearson de la textura descriptiva vs textura instrumental de los productos extruidos

	Dureza	Crujencia	Resistencia a la Ruptura	Adherencia
Compresión	0,71 *	0,71 *	0,65 ^{ns}	-0,25 ^{ns}
Corte Guillotina	0,73 *	0,74 *	0,75 *	-0,16 ^{ns}
Corte en “V”	0,66 ^{ns}	0,66 ^{ns}	0,64 ^{ns}	-0,24 ^{ns}
Punción	0,87 **	0,87 **	0,90 **	-0,32 ^{ns}

** Altamente significativo ($p \leq 0.01$); * Significativo ($p \leq 0.05$); ns: no significativo

La Tabla 32 muestra que los atributos sensoriales de dureza y crujencia se correlacionaron positivamente con las sondas de compresión, corte guillotina y punción. Sin embargo, el coeficiente de correlación de Pearson de la punción

($r = 0,87$) en los dos atributos, presentó un valor altamente significativo ($p \leq 0.01$), con relación a las demás sondas.

En cuanto al atributo sensorial de resistencia a la ruptura se correlacionó positivamente y de manera significativa ($p \leq 0.05$) con la sonda de corte guillotina con un coeficiente de $r=0,75$ y altamente significativa ($p \leq 0.01$) con la sonda de punción con un valor de $r=0,90$.

Por otro lado la adherencia de los productos extruidos no mostró correlación con ninguna de la sondas de la textura instrumental, ya que los coeficientes de Pearson no presentaron ninguna diferencia significativa en ningún nivel.

De acuerdo a los resultados obtenidos en esta investigación, se encuentra correlaciones altamente positivas, ya que, Leighton, Schonfeldt, & Kruger (2010) manifestaron, que un coeficiente de correlación de Pearson con valores superiores a 0,70 presentan una correlación bastante fuerte entre las variables de estudio.

Sin embargo, Paula & Conti-Silva, (2014) mencionaron en su investigación que el análisis de textura instrumental en snacks extruidos se aplica ampliamente pero no existe un consenso científico sobre el tipo de prueba o sonda que pueda medir con exactitud algún atributo de la textura sensorial.

Una vez realizada la correlación de Pearson, se ha determinado que existen altas correlaciones entre la textura descriptiva con la textura instrumental, lo que es indicativo de la variabilidad de los datos y se procede a realizar un análisis de componentes principales (PCA).

4.4.4 ANÁLISIS DE COMPONENTES PRINCIPALES

El análisis de componentes principales (PCA), es un método estadístico que permite describir una matriz de datos, a los que se les ha medido diferentes variables de estudio. Permitiendo reducir la dimensionalidad de los resultados de la investigación.

La prueba de esfericidad de Bartlett midió un nivel de significancia estadística de 0,00, lo que indica que los datos de la textura pueden ser analizados mediante el análisis de componentes principales (PCA), puesto que la matriz de correlación no es una matriz de identidad.

Tabla 33. Componentes principales obtenidos con su respectiva variabilidad explicada

Componentes	Autovalores Iniciales		
	Total	Varianza (%)	Varianza Acumulada (%)
1	5,66	70,78	70,78
2	1,12	14,01	84,79
3	0,69	8,56	93,34
4	0,34	4,28	97,63
5	0,15	1,89	99,51
6	0,04	0,45	99,97
7	0,00	0,03	100,00
8	0,00	0,00	100,00

La Tabla 33 muestra el análisis factorial de componentes principales de los datos de textura descriptiva vs textura instrumental. Los dos primeros componentes tienen varianza total mayor que 1 y entre estos recogen el 84,79% de la variabilidad de los datos y teniendo cada uno de ellos, varios factores de valor significativo

Para simplificar la explicación de los valores, se graficó una dispersión bidimensional de las dos primeras componentes. (Figura 33).

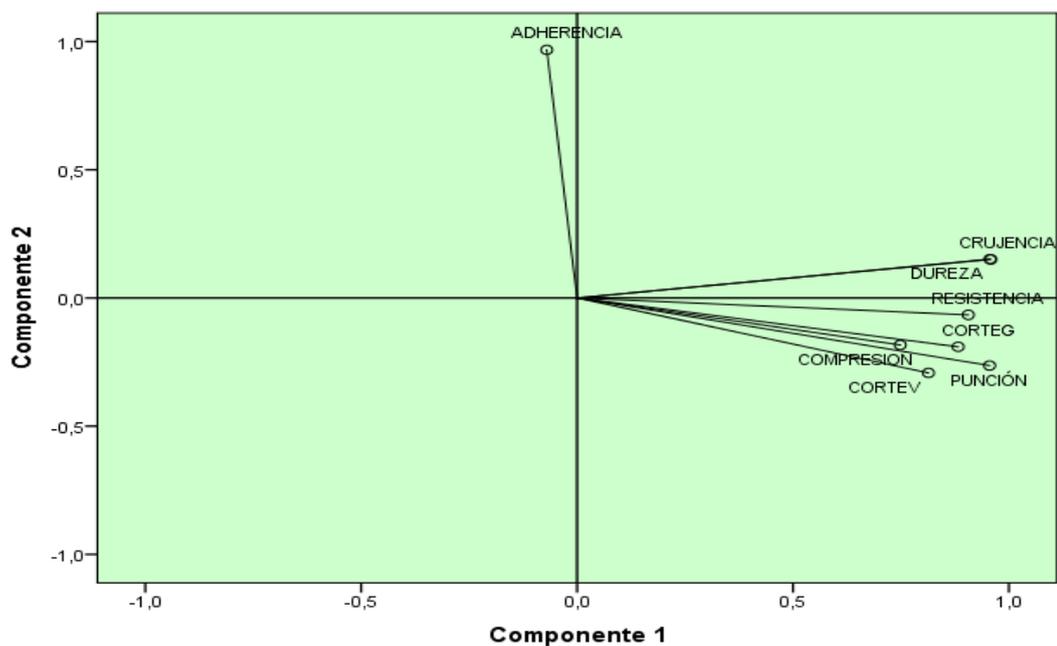


Figura 33. Diagrama de dispersión bidimensional de los componentes principales

Al analizar la matriz de componente rotado (Figura 33-Tabla 34), se presenta los componentes principales obtenidos con sus respectivas variables de respuesta. En la cual se puede observar que los atributos de la textura descriptiva (dureza, crujencia y resistencia a la ruptura) y las pruebas de textura instrumental (compresión, corte guillotina, corte “v”, punción) se encuentran en el componente 1, mientras que el atributo de la adherencia se localiza en el componente 2.

Tabla 34. Matriz de componente rotado de variables de textura

	Matriz de componente rotado	
	Componente	
	1	2
Compresión	0,75	
Corte Guillotina	0,88	
Corte “V”	0,81	
Punción	0,95	
Dureza	0,96	
Crujencia	0,96	
Resistencia a la ruptura	0,91	
Adherencia		0,97

Método de extracción: Análisis de componentes principales

4.5 ANÁLISIS DE ACEPTABILIDAD SENSORIAL DEL PRODUCTO EXTRUIDO

Las propiedades organolépticas del alimento son debido al tipo de extrusión que se lleva a cabo. Aplicando altas temperaturas el producto perderá más cantidad de agua, por lo tanto, se obtendrán productos con menor humedad y con mayor vida útil. Por el contrario, trabajando en frío se obtendrán productos con mayor actividad de agua pero con una menor pérdida de nutrientes (Túpaca, 2012).

Se evaluó la aceptabilidad sensorial de los productos extruidos mediante una escala hedónica de 5 puntos, para cada característica sensorial (color, olor, textura, sabor).

La evaluación fue realizada con 30 panelistas de la Universidad Técnica del Norte de la carrera de ingeniería agroindustrial de entre 18 y 30 años de edad.

De los resultados obtenidos, se calcularon los promedios de cada atributo sensorial para el análisis de aceptabilidad. Obteniendo finalmente tendencias de respuestas en base a porcentaje con respecto al total de evaluadores.

4.5.1 COLOR

El color es un parámetro que se analiza con el sentido de la vista, es uno de los factores más importantes al momento de adquirir un producto.

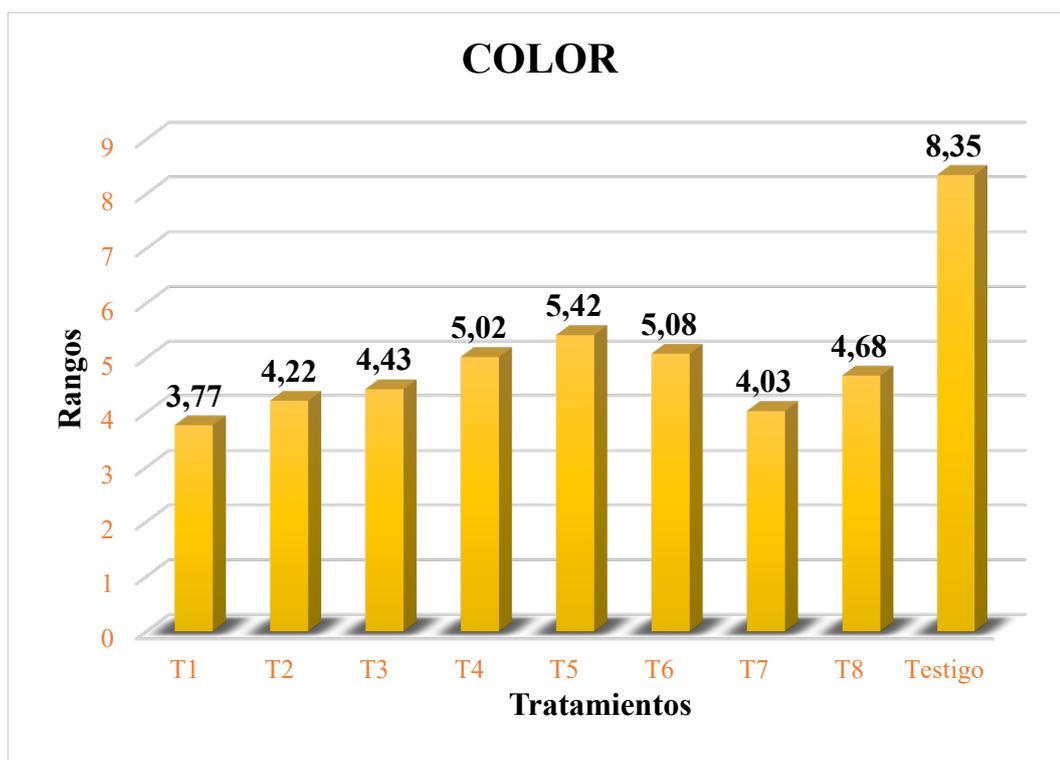


Figura 34. Puntuaciones de color en el producto extruido

En la Figura 34 se puede apreciar el efecto de los factores de estudio (formulación de la mezcla, contenido de humedad de la mezcla y temperatura de extrusión) sobre el color de los tratamientos, observándose que el **testigo** obtuvo el valor más alto, debido a su formulación (100% maíz) por su color uniforme.

4.5.2 OLOR

En la Figura 35 se presenta las puntuaciones de los tratamientos en estudio, obtenidas por parte de los panelistas.

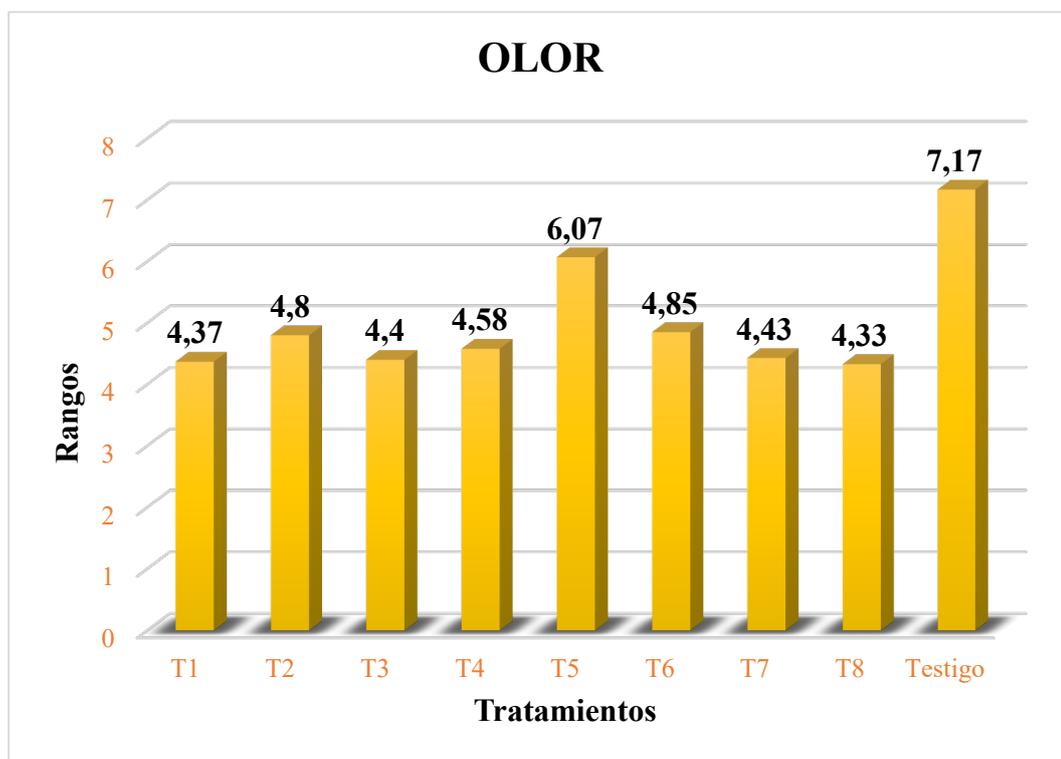


Figura 35. Puntuaciones de olor en el producto extruido

Según el panel de degustadores en la puntuación de la característica del más agradable obtuvo el **testigo** (100% maíz), seguido del tratamiento **T5** (80% maíz + 15% fréjol + 15% camote). McCarthy, O'Callaghan, Piggott, FitzGerald, & O'Brien, (2013) mencionan en su estudio que los aromas u olores provenientes de un alimento dependerán de la cantidad de sustancias volátiles que contengan.

4.5.3 TEXTURA

En la Figura 36 se muestra los rangos de las puntuaciones del atributo de la textura de los productos extruidos obtenidos por los tratamientos en estudio.

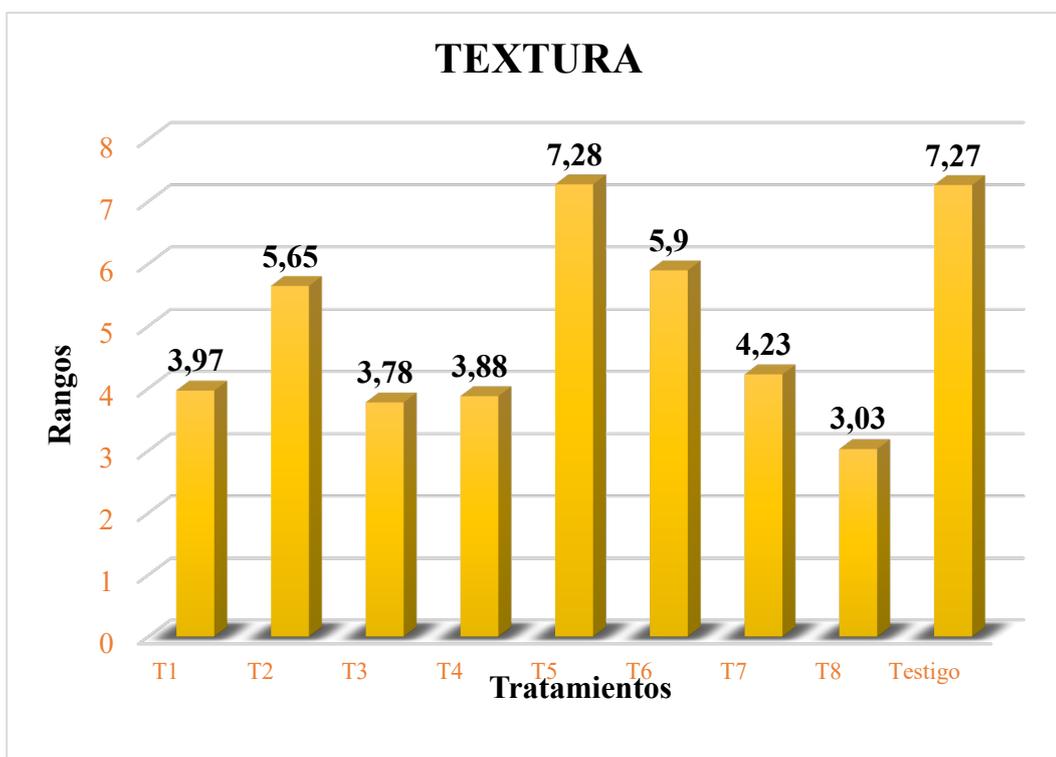


Figura 36. Puntuaciones de textura en el producto extruido

El panel degustador dio a conocer su preferencia por los tratamientos **T2, T5, T6** y **testigo** ya que por su buena expansión estos se vuelven más crujientes y agradables para el consumidor, tal como (Anton & Luciano, 2007) lo expresa, la textura de los alimentos extruidos es una característica fundamental y de gran importancia, siendo frecuentemente la crujibilidad el atributo más deseable.

4.5.4 SABOR

En la Figura 37, se observa que las calificaciones de sabor para los snacks extruidos, se relacionan muy bien con las anteriores propiedades organolépticas evaluadas.

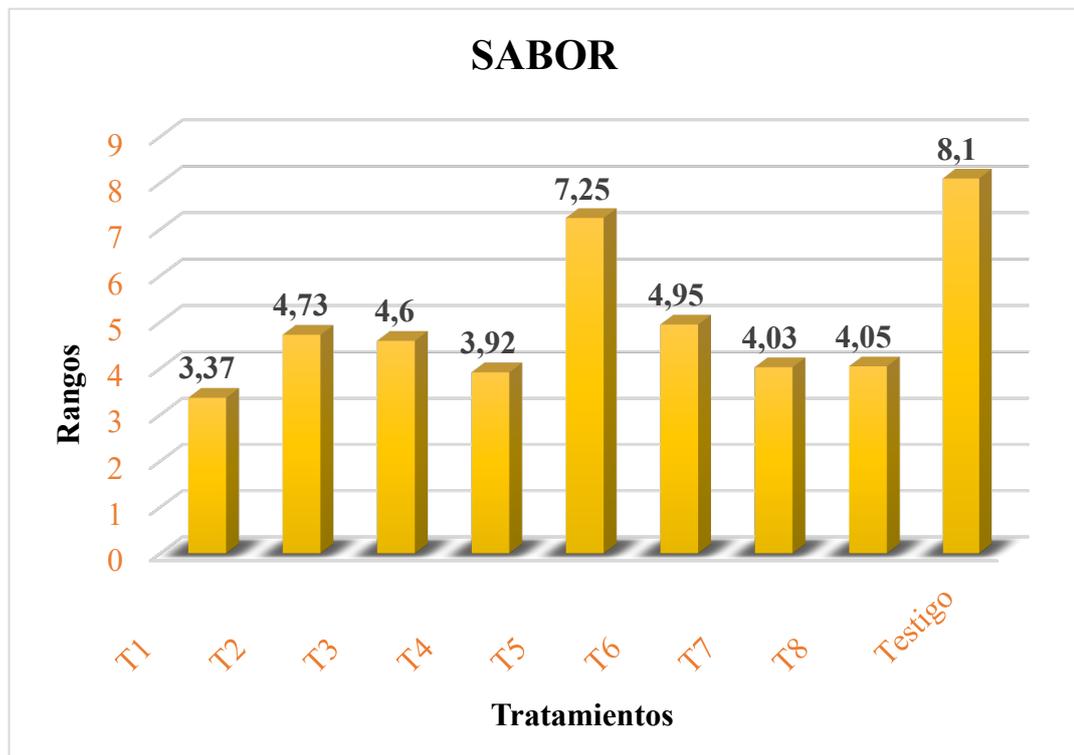


Figura 37. Puntuaciones de sabor en el producto extruido

El resultado del efecto de la sustitución del contenido de maíz por fréjol y camote, fue positivo en la aceptabilidad de los productos extruidos elaborados. Evidenciándose que para los degustadores el tratamiento con mayor aceptación es el **testigo** seguido del tratamiento **T5** (80% maíz + 10% fréjol + 10% camote).

Tabla 35. Resumen del análisis de aceptabilidad sensorial de los productos extruidos

Tratamientos	Variables			
	Color	Olor	Textura	Sabor
T1	3,77 ± 0,71 ^d	4,37 ± 0,90 ^d	3,97 ± 0,84 ^c	3,37 ± 0,80 ^d
T2	4,22 ± 0,86 ^{cd}	4,80 ± 0,69 ^{ab}	5,65 ± 0,74 ^{bc}	4,73 ± 0,99 ^a
T3	4,43 ± 0,85 ^{bcd}	4,40 ± 0,72 ^{cd}	3,78 ± 0,66 ^d	4,60 ± 0,83 ^{bc}
T4	5,02 ± 0,82 ^{bc}	4,58 ± 0,70 ^c	3,88 ± 0,84 ^{cd}	3,92 ± 0,99 ^d
T5	5,42 ± 0,88 ^b	6,07 ± 0,53 ^{ab}	7,28 ± 0,51 ^a	7,25 ± 0,66 ^{ab}
T6	5,08 ± 1,04 ^{bc}	4,85 ± 0,88 ^{ab}	5,90 ± 0,56 ^b	4,95 ± 0,94 ^{ab}
T7	4,03 ± 0,86 ^{cd}	4,43 ± 0,94 ^{cd}	4,23 ± 0,90 ^{bc}	4,03 ± 0,97 ^c
T8	4,68 ± 0,85 ^{bcd}	4,33 ± 0,86 ^d	3,03 ± 0,90 ^{bc}	4,05 ± 0,72 ^c
Testigo	8,35 ± 0,49 ^a	7,17 ± 0,51 ^{ab}	7,27 ± 0,50 ^b	8,10 ± 0,66 ^a

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

4.6 ANÁLISIS COMPLEMENTARIOS

4.6.1 ANÁLISIS DE DIGESTIBILIDAD DE LA PROTEÍNA

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

El proceso de extrusión aumenta la digestibilidad de proteínas por desnaturalización, aunque se producen pérdidas de aminoácidos como la lisina (Da-Wen, 2005).

En la Tabla 36 se puede apreciar la digestibilidad de la proteína en los mejores tratamientos y testigo, determinando al tratamiento **T2** (70% maíz +15% fréjol +15% camote; 15% humedad de la mezcla; 140°C) como el más digerible con un 89,69%.

Tabla 36. Análisis de la digestibilidad de la proteína de los productos extruidos

Tratamientos	Digestibilidad de la proteína
T2	89,69 %
T5	86,48 %
T6	82,96 %
Testigo	83,58 %

Laboratorio del Departamento de Nutrición y Calidad de Santa Catalina (INIAP)

Según la investigación de los autores Ramachandra & Thejaswini (2015), el valor nutricional de las proteínas vegetales se mejora favorablemente por las condiciones que se utiliza en el proceso de extrusión, debido al aumento de la digestibilidad, probablemente como resultado de la desnaturalización de las proteínas y la inactivación de los inhibidores enzimáticos presentes en las materias primas mediante la exposición de nuevos sitios activos para el ataque enzimático

4.6.2 ANÁLISIS DE AMINÓACIDOS

El análisis de perfil de aminoácidos se realizó al tratamiento: **T2** (70% maíz +15% fréjol +15% camote; 15% humedad de la mezcla; 140°C), ya que en la mayoría de análisis realizados, fue el mejor al ubicarse en el rango **a** de la prueba de Tukey al 5%.

Tabla 37. Contenido de aminoácidos del mejor tratamiento

Aminoácidos	g AA/100g de muestra
Ácido Aspártico	0,48
Ácido Glutámico	1,47
Serina	0,84
Histidina	0,69
Treonina	0,47
Glicina	0,30
Arginina	0,48
Alanina	0,42
Tirosina	1,81
Triptófano	0,00
Valina	0,56
Metionina	0,24
Fenil alanina	0,70
Isoleucina	0,49
Leucina	1,30
Lisina	0,47
Aminoácidos totales	10,71

Laboratorio Analítico Excelencia Química UBA

Muños, (2012) afirma que el maíz es un cereal deficiente en lisina y triptófano, pero rico en metionina, por lo que al ser mezclado con una leguminosa como el fréjol pobre en metionina y rica en lisina y triptófano, se obtiene un producto con un mejor balance de aminoácidos, por lo tanto mejora la calidad nutricional del alimento. Así mismo Serrano, (2010) manifiesta que el fréjol complementa en su contenido y calidad de las proteínas a los cereales y tubérculos ricos en almidón, ya que los vuelve más digeribles y aporta con nutrientes necesarios para el ser humano. Además Ruiz, (2010) cita que el camote dispone de un bajo contenido proteico, sin embargo el valor biológico de la proteína es bajo, por lo que se justifica la mezcla del maíz y el fréjol, que viene a completar el perfil de aminoácidos esenciales y mejorar el valor biológico de la proteína.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- ❖ Las propiedades nutricionales (humedad, cenizas, proteína, extracto etéreo, fibra) de las materias primas como son: gritz de maíz, fréjol y camote se encuentran dentro de la norma de “Granos y Cereales” NTE INEN 2051: 1995.
- ❖ La humedad de la mezcla y temperatura de extrusión mostraron mayor efecto sobre las propiedades fisicoquímicas de los productos extruidos, ya que a menor humedad (15%) y mayor temperatura (140°C) se obtuvieron mayores contenidos de proteína, fibra y cenizas.
- ❖ Las formulaciones de gritz de fréjol, camote y maíz en sus dos niveles (70/15/15; 80/10/10), presentaron mayor contenido nutricional de proteína, fibra, extracto etéreo y cenizas, con relación a la composición del testigo (100% maíz), observándose complementariedad entre las materias primas.
- ❖ De acuerdo a los resultados obtenidos del grupo de panelistas semi-entrenados, se determinó que los productos extruidos acondicionadas con 15% de humedad y sometido a una temperatura de extrusión de 140°C tuvieron mayor efecto sobre los atributos de dureza, crujencia y resistencia a la ruptura.

- ❖ Cuando se aumenta el contenido de fréjol a una formulación a base de maíz para la elaboración de productos extruidos expandidos, la adherencia del snack disminuye significativamente.
- ❖ Al realizar el análisis de correlación de Pearson y componentes principales entre la textura sensorial descriptiva y la textura instrumental, se pudo determinar que las sondas de compresión, punción y corte guillotina se correlacionan significativamente con los atributos de dureza y crujencia.
- ❖ En el análisis de aceptabilidad sensorial se concluye que los tratamientos que tienen mayor cantidad de maíz en sus formulaciones tuvieron mayor grado de aceptación por parte de los degustadores, observándose que el tratamiento T5 (80% maíz+ 10% fréjol+ 10% camote) tuvo una mayor valoración en los atributos de sabor y textura.
- ❖ De acuerdo a las características físico-químicas, al aumentar el contenido de tubérculos y leguminosas a una formulación, el valor nutricional de los tratamientos aumentó con relación al testigo, por tanto se acepta la hipótesis alternativa.
- ❖ Al realizar el análisis del contenido de proteína a los productos extruidos se determinó que al aumentar fréjol a la mezcla, el contenido proteico de los tratamientos aumentó, considerando al tratamiento T2 con 12,48% como el mejor a diferencia del testigo que presentó 8,32%, notándose un incremento de 4,16%.
- ❖ El testigo (100% maíz) y las formulaciones con 80% maíz + 10% fréjol + 10% camote, mostraron un mayor índice de expansión y bajos niveles de densidad aparente en los productos extruidos, debido a la calidad del almidón de maíz.

- ❖ El bajo contenido de humedad de la mezcla (15%) y la alta temperatura de extrusión (140 °C) durante el proceso mostró un mayor índice de absorción de agua (IAA) y bajo índice de solubilidad de agua (ISA).

5.2 RECOMENDACIONES:

- ❖ Se recomienda controlar las condiciones del extrusor como: velocidad del tornillo, presión, diámetro de la boquilla debido a que afectan significativamente las características del producto terminado.
- ❖ Los snacks extruidos elaborados a partir de maíz, fréjol y camote son productos de alto contenido de carbohidratos, por ende, se recomienda realizar un análisis de digestibilidad de almidón ya que este método determinaría cómo y qué fracción del total será digerida.
- ❖ Innovar con nuevas materias primas que contengan alto valor proteico en su composición y experimentar en el proceso de extrusión, aumentando el contenido de estas en las formulaciones a base de maíz, para la elaboración de nuevos productos extruidos y de alta calidad nutricional.
- ❖ El porcentaje de humedad de la mezcla no debe sobrepasar el 40%, ya que afectaría significativamente tanto en las propiedades físico-químicas como funcionales y de textura del snacks extruido.
- ❖ Realizar un estudio de factibilidad para el procesamiento de snacks extruidos en las Unidades Edu-productivas con el fin de reforzar los conocimientos acerca de este tema, beneficiando al mismo tiempo a la productividad de la Institución.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adekola, K. A. (2015). Influence of food extruder die dimensions on extruded products expansion. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 17(1), 255–263.
- Aguirre, O. (2013). Tecnología en Alimentos. En *Extrusión en alimentos*.
- Anton, A. A., & Luciano, F. B. (2007). Instrumental Texture Evaluation of Extruded Snack Foods: a Review Evaluación Instrumental De Textura En Alimentos Extruidos: Una Revisión. *Ciencia Y Tecnologia Alimentaria*, 5(4), 245–251. <https://doi.org/10.1080/11358120709487697>
- Babin, P., Del Valle, G., Dendievel, R., Lourdin, D., & Salvo, L. (2007). X-ray tomography study of the celular structure of extruded starches and its relations with expansion phenomenon and foam mechanical properties. *Carbohydrate Polymers*, 329-340.
- Blanco, F. (2012). Ceramicos conformados por extrusión, 37. Retrieved from <http://www6.uniovi.es/usr/fblanco/Tema5.MaterialesCeramicos.Conformado.Extrusion.Pdf>
- Bouvier, J.-M., & Campanella, O. H. (2014). *Extrusion Processing Technology*. <https://doi.org/10.1002/9781118541685>
- Cadena, C. (2010). *Elaboracion de un snack extruido expandido a base de chocho y gritz de maíz*. Quito.
- Cajamarca, J. (2012). *Determinación de Macronutrientes de los Snacks más consumidos por adolescentes escolarizados de la ciudad de Cuenca*. Recuperado el 2 de 6 de 2017, de <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/2467/1/tq1110.pdf>
- Chamba, L. (2008). *Cultivo Del Camote Para El Mercado*. Ecuador.
- CNBI. (2013). *Camote*. Recuperado el 5 de 5 de 2017, de <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/taxonomy/?term=CAMOTE>

- 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, B. (Junio de 2009). Caracterización de harina de maíz instantánea. *Calentamiento óhmico*. Obtenido de Calentamiento óhmico: <http://www.itzamna.bnct.ipn.mx:8080/dspace/bitstream/>
- Da-Wen, S. (2005). *Emerging Technologies for Food Processing*.
- Ding, Q., Ainsworth, P., Plonkell, A., Tucker, G., & Marson, H. (2005). The effect of extrusion on the physicochemical properties and sensory characteristics of rice based expanded snacks. *Journal of Food Engineering*, 283-289.
- Ensanut-Ecu. (2014). *Estadística de Salud y Nutrición*. Ecuador.
- ESPAC. (2013). *INEC*. Recuperado el 23 de 4 de 2017, de Estadísticas Agropecuarias: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/estadisticas-agropecuarias-2/>
- FAO. (2000). *Composición química y valor nutritivo del maíz*. Recuperado el 20 de 7 de 2017, de <http://www.fao.org/docrep/t0395s/t0395s03.htm>
- Fellows, P. (2000). Extrusión. En *Tecnología del proceso de los alimentos*. España: ACRIBIA S.A.
- Gimferrer, N. (2009). “Extrusión de alimentos, dar nuevas formas y texturas”. *Seguridad Alimentaria- Ciencia y Tecnología*.
- Guy, R. (2002). *Extrusión de alimentos: tecnología y aplicación*. España: Acribia S.A.
- Henry, C., & Chapman, C. (2002). *The nutrition handbook for food processors*. CRC.
- Hernandez, P., Vargas, P., & Maruaga, J. (12 de 3 de 2013). *Origen, domesticación y diversificación del frijol común. Avances y perspectivas*. Recuperado el 4

de 4 de 2017, de
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802013000200002

Huber, G. (2010). *Developments and Trends in Extruded Snacks*.

INIAP. (Seotiembre de 2010). *Manual Agrícola del fréjol y otras leguminosas*. Recuperado el 6 de Mayo de 2017, de <http://www.iniap.gob.ec/nsite/images/documentos/MANUAL%20FREJOL%20Y%20LEGUMIN%202010.pdf>

INIAP. (10 de 2015). *Evaluación de materiales de camote en la provincia de Manabí*. Recuperado el 7 de 5 de 2017, de www.iniap.gob.ec/nsite/index.php

Karve, M. (2010). Food extrusion. *food engineering*. Usa.

Khalek, E., & Janssens, G. (2010). Efecto de la extrusión sobre la gelatinización y rendimientos productivos en avicultura. *Diario de la ciencia de aves de corral del mundo*, págs. 53-64.

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., Olivera, E. M., Mr, Đ., Sredanović, S., & Kokić, B. (2010). *Heat treatments in animal feed processing. Extrusion technology in feed and food processing procesing*.

Lezcano, A. E. P., & Cuggino, M. I. (2002). Desarrollo de alimentos precocidos por extrusión a base de maíz-leguminosa. *Alimentos Argentinos*, 50, 1–90.

MAGAP. (2013). *Fréjol tierno y seco*. Recuperado el 4 de 4 de 2013, de Boletín situacional:
<http://sinagap.agricultura.gob.ec/phocadownloadpap/cultivo/2013/frejol.pdf>

Martínez. (2012). *Desarrollo de alimentos precocidos por extrusion a base de maiz y leguminosas*.

- Maskan, M., & Altan, A. (2011). *Advances in Food Extrusion Technology*.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Mian, N. ., & Galen, J. . (2012). *Extrusion problems solved. Semiconductor Nanowires*. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-253-2.09001-0>
- Moscicki, L. (2011). *Extrusion-Cooking Techniques. Techniques*.
<https://doi.org/10.1002/9783527634088>
- Mataix, J. (2009). Tratado de Nutrición y Alimentación Humana. En J. Mataix. Barcelona España: Océano.
- Moraru, C., & Kokini, J. (2003). Nucleation and expansion during extrusion and microwave heating of cereal foods. *Reviews Food Sci Food Safety*, 120-138.
- Muños, L. (2012). Estación Experimental Santa Catalina - Granos Andinos. Quito, Ecuador. Obtenido de Productos Andinos.
- NTC 3659. (2006). *Expandidos Extruidos A Base De Cereales*. Colombia: Instituto Colombiano De Normas Técnicas Y Certificación.
- Paliwal, R. (2001). *EL MAÍZ EN LOS TRÓPICOS: Mejoramiento y Producción*. Recuperado el 2017, de http://www.fao.org/docrep/003/x7650s/x7650s04.htm#P0_0
- Paula, A. M., & Conti-Silva, A. C. (2014). Texture profile and correlation between sensory and instrumental analyses on extruded snacks. *Journal of Food Engineering*, 121(1), 9–14. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.08.007>
- Pinto, M. (2012). El Cultivo del camote y el cima en el Ecuador. *INAMHI*, 23.
- PRO ECUADOR. (2014). *Perfil Sectorial de Snacks de Sal Gourmet*. Recuperado el 11 de 5 de 2017, de http://www.proecuador.gob.ec/wp-content/uploads/2014/12/PROEC_AS2014_SNACKS-1.pdf
- Ramachandra, H. G., & Thejaswini, M. L. (2015). Extrusion technology: a new method of food processing, 2(1992), 358–369.
- Ramos Diaz, 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>

Revelo, G. (2010). Desarrollo y evaluación de las tecnologías de un snack laminado a partir de quinua. *Escuela Politécnica Nacional*.

Ruíz, L. (2010). Obtención de harina de camote para su aplicación como base en la elaboración de productos tipo galleta. *Universidad Politécnica del Litoral*.

Sacón, E., Bernal, I., Dueñas, A., & Cobeña, A. &. (2016). Reología de mezclas de harinas de camote y trigo para elaborar pan. *Tecnología Química*, 457-467.

Sánchez, J. (2011). Diversidad del maíz y teocintle. Guadalajara, México.

Sandoval, A., Farhat, I., & Fernández, A. (2007). Comportamiento reológico de harinas y almidones de yuca (*Manihot esculenta* CRANTZ) durante un proceso de extrusión. *Scielo*, 2-6.

Scott, G., Herrera, J., Espinola, N., Daza, M., & Fonseca, C. (2000). Deshidratado artesanal del Camote. En *Desarrollo de productos: Raíces y Tubérculos* (págs. 227-228). Lima-Perú: América Latina.

Serrano, L. (Mayo de 2010). *Análisis del caso del frijol*. Recuperado el 16 de 3 de 2017, de <http://www.agrochiapas.gob.mx/tmp/SP/archivos/SP-Frijol.pdf>

Singh, R. P., & Heldman, D. R. (2014). Extrusion Processes for Foods. *Introduction to Food Engineering*, 743–766. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-398530-9.00014-0>

SPAC. (2016). *Producción*. Recuperado el 10 de 5 de 2017, de Reportes dinámicos SPAC: <http://sinagap.agricultura.gob.ec/index.php/reportes-dinamicos-espac>

Stojceska, V., Ainsworth, P. P., & Ibanoglu, S. (2008). Stojceska, V., Ainsworth, P., PlunkThe recycling of brewer's processing by-product into ready to eat snacks using extrusion technology. *Cereal Science*, 469–479.

- Szczesniak, A. (2002). Texture is a sensory property. *Food Quality and Preference*, 215-225.
- Singh, R. P., & Heldman, D. R. (2014). Extrusion Processes for Foods. *Introduction to Food Engineering*, 743–766. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-398530-9.00014-0>
- Torres, J., González-Morelo, K., & Acevedo, D. (2015). Análisis del Perfil de Textura en Frutas, Productos Cárnicos y Quesos. *ReCiTeIA*, 14(2), 63–7
- Torres, O., & Pérez, W. (2006). Tecnología de extrusión en alimentos. En *Ciencia y tecnología de alimentos* (págs. 78-86). Cuba. Recuperado el 12 de 5 de 2017, de Ciencia y Tecnología de alimentos: <http://www.ebrary.com>
- Túpaca, V. (2012). Influencia del tamaño de partícula, humedad y temperatura en el grado de gelatinización durante el proceso de extrusión de maca (*Lepidium meyenii* Walp). Lima.
- Valls, A. (2013). *El proceso de extrusión en cereales y habas de soja*. Recuperado el 21 de 5 de 2017, de efectos de la extrusión sobre la utilización de nutrientes.
- Wang, N., Maximiuk, L., & Toews, R. (2012). Pea starch noodles: Effect of processing variables on characteristics and optimisation of twin-screw extrusion process. *Food Chem*, 742-753.

ANEXOS

ANEXO 1. PROCESO DE ELABORACIÓN DE PRODUCTOS EXTRUIDOS EXPANDIDOS

RECEPCIÓN DE MATERIA PRIMA		
		
Gritz de maíz	Gritz de fréjol	Gritz de camote
PESADO		
		
Gritz de maíz	Gritz de fréjol	Gritz de camote
MEZCLADO – ACONDICIONAMIENTO		
		
Mezcla de griz	Mezcla homogénea	Mezcla acondicionada

EXTRUSIÓN



Equipo: Extrusor



Proceso de extrusión



Producto extruido

ANEXO 2. DIFERENCIA MÍNIMA SIGNIFICATIVA (DMS) DE LOS ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS.

➤ Contenido de humedad

Diferencia media significativa para la interacción AB

Factor A	Factor B	Medias
A1	B1	5,43 ^a
A2	B1	5,46 ^a
A1	B2	7,54 ^b
A2	B2	8,58 ^c

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

Diferencia media significativa para la interacción AC

Factor A	Factor C	Medias
A2	C1	6,30 ^a
A1	C2	6,36 ^b
A2	C2	6,69 ^c
A1	C1	7,64 ^d

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

➤ **Contenido de proteína**

Diferencia media significativa para la interacción AB

Factor A	Factor B	Medias
A2	B2	9,42 ^a
A1	B2	9,56 ^a
A2	B1	9,86 ^b
A1	B1	10,60 ^c

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

Diferencia media significativa para la interacción AC

Factor A	Factor C	Medias
A1	C1	9,57 ^a
A2	C1	9,57 ^a
A2	C2	9,57 ^a
A1	C2	10,60 ^b

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

Diferencia media significativa para la interacción BC

Factor B	Factor C	Medias
B2	C2	9,09 ^a
B1	C1	9,24 ^a
B2	C1	9,89 ^b
B1	C2	11,22 ^c

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

➤ **Contenido de extracto etéreo**

Diferencia media significativa para la interacción AB

Factor A	Factor B	Medias
A1	B2	0,41 ^a
A1	B1	0,46 ^b
A2	B2	0,52 ^c
A2	B1	0,54 ^d

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

Diferencia media significativa para la interacción AC

Factor A	Factor C	Medias
A1	C2	0,41 ^a
A1	C1	0,45 ^b
A2	C2	0,52 ^c
A2	C1	0,53 ^d

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

Diferencia media significativa para la interacción BC

Factor B	Factor C	Medias
B2	C2	0,45 ^a
B2	C1	0,47 ^b
B1	C2	0,48 ^b
B1	C1	0,52 ^c

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

➤ Contenido de fibra

Diferencia media significativa para la interacción AB

Factor A	Factor B	Medias
A2	B2	0,89 ^a
A2	B1	1,06 ^b
A1	B1	1,18 ^c
A1	B2	1,23 ^d

Medias con letras iguales no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Diferencia media significativa para la interacción AC

Factor A	Factor C	Medias
A2	C2	0,94 ^a
A2	C1	1,01 ^b
A1	C1	1,20 ^c
A1	C2	1,21 ^c

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

Diferencia media significativa para la interacción BC

Factor B	Factor C	Medias
B2	C2	0,89 ^a
B1	C1	1,06 ^b
B2	C1	1,18 ^c
B1	C2	1,23 ^d

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

➤ **Contenido de carbohidratos**

Diferencia media significativa para la interacción AB

Factor A	Factor B	Medias
A1	B2	80,24 ^a
A2	B2	81,50 ^b
A1	B1	82,17 ^c
A2	B1	83,02 ^d

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

Diferencia media significativa para la interacción AC

Factor A	Factor C	Medias
A1	C1	80,03 ^a
A2	C2	81,38 ^b
A1	C2	82,05 ^c
A2	C1	82,47 ^d

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

Diferencia media significativa para la interacción BC

Factor B	Factor C	Medias
B2	C1	80,20 ^a
B2	C2	81,54 ^b
B1	C2	81,89 ^c
B1	C1	83,30 ^d

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

ANEXO 3. DIFERENCIA MÍNIMA SIGNIFICATIVA (DMS) DE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES.

➤ **Índice de expansión**

Diferencia media significativa para la interacción AB

Factor A	Factor B	Medias
A1	B2	3,87 ^a
A2	B2	4,16 ^b
A1	B1	4,47 ^c
A2	B1	5,10 ^d

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

Diferencia media significativa para la interacción AC

Factor A	Factor C	Medias
A1	C2	4,10 ^a
A1	C1	4,24 ^{ab}
A2	C2	4,41 ^b
A2	C1	4,84 ^c

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

Diferencia media significativa para la interacción BC

Factor B	Factor C	Medias
B2	C2	3,68 ^a
B2	C1	4,35 ^b
B1	C1	4,74 ^c
B1	C2	4,83 ^c

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

➤ **Densidad aparente**

Diferencia media significativa para la interacción AB

Factor A	Factor B	Medias
A2	B1	0,27 ^a
A1	B1	0,33 ^b
A2	B2	0,37 ^c
A1	B2	0,49 ^d

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

Diferencia media significativa para la interacción AC

Factor A	Factor C	Medias
A2	C1	0,31 ^a
A2	C2	0,33 ^b
A1	C1	0,37 ^c
A1	C2	0,45 ^d

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

Diferencia media significativa para la interacción BC

Factor B	Factor C	Medias
B1	C1	0,30 ^a
B1	C2	0,31 ^b
B2	C1	0,38 ^c
B2	C2	0,48 ^d

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

➤ **Índice de absorción de agua (IAA)**

Diferencia media significativa para la interacción AB

Factor A	Factor B	Medias
A2	B1	5,30 ^a
A1	B1	5,41 ^a
A1	B2	6,03 ^c
A2	B2	6,33 ^d

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

Diferencia media significativa para la interacción AC

Factor A	Factor C	Medias
A2	C2	5,47 ^a
A1	C2	5,54 ^a
A1	C1	5,91 ^b
A2	C1	6,15 ^c

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

➤ **Índice de solubilidad de agua (ISA)**

Diferencia media significativa para la interacción AB

Factor A	Factor B	Medias
A1	B1	0,28 ^a
A2	B1	0,27 ^a
A1	B2	0,25 ^b
A2	B2	0,23 ^c

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

Diferencia media significativa para la interacción AC

Factor A	Factor C	Medias
A1	C2	0,27 ^a
A1	C1	0,26 ^b
A2	C2	0,26 ^b
A2	C1	0,25 ^b

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

Diferencia media significativa para la interacción BC

Factor B	Factor C	Medias
B1	C2	0,28 ^a
B1	C1	0,27 ^b
B2	C2	0,24 ^c
B2	C1	0,24 ^c

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

ANEXO 4. PLANTILLA PARA EVALUAR LA TEXTURA DESCRIPTIVA CON PANELISTAS SEMI-ENTRENADOS



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

CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

Nombre: _____ Fecha: _____

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

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

ATRIBUTOS

DUREZA

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

CRUJENCIA

CÓDIGO	0	5	10
T1	----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- -----		
	Poco crocante		Muy crocante
T2	----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- -----		
	Poco crocante		Muy crocante
T3	----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- -----		
	Poco crocante		Muy crocante
T4	----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- -----		
	Poco crocante		Muy crocante
T5	----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- -----		
	Poco crocante		Muy crocante

RESISTENCIA A LA RUPTURA

CÓDIGO	0	5	10
T1	----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- -----		
	Poco resistente		Muy resistente
T2	----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- -----		
	Poco resistente		Muy resistente
T3	----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- -----		
	Poco resistente		Muy resistente
T4	----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- -----		
	Poco resistente		Muy resistente
T5	----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- ----- -----		
	Poco resistente		Muy resistente

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 5. PLANTILLA PARA EVALUAR EL ANÁLISIS DE
ACEPTABILIDAD SENSORIAL DE LOS SNACKS EXTRUIDOS**

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

Nombre: _____ Fecha: _____

EVALUACIÓN ORGANOLÉPTICA DE LA ELABORACIÓN DE UN
SNACKS ELABORADO A PARTIR DE LA MEZCLA DE GRITZ DE MAÍZ
Zea mays, FRÉJOL *Phaseolus vulgaris* Y CAMOTE *Ipomoea batatas*.

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

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

Observaciones:

ANEXO 6. NORMA INEN 2051: 1995 GRANOS Y CEREALES

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

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

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

TABLA 1. Requisitos del maíz entero molido

REQUISITOS	% MINIMO	% MAXIMO	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, gritz. Requisitos específicos.

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

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

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

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

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

TABLA 2. Requisitos de la sémola, harina, gritz del maiz

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, gritz del maíz desgerminado deben cumplir con los requisitos que se establecen en la tabla 3.

TABLA 3. Requisitos microbiológicos

Requisitos	Unidad	Limite 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, gritz del maíz desgerminado, se debe cumplir con los requisitos microbiológicos del Anexo A.

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

ANEXO 7. NORMA INEN 3084:2015 MEZCLAS ALIMENTICIAS

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

1. OBJETO Y CAMPO DE APLICACIÓN

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

2. REFERENCIAS NORMATIVAS

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

3. DEFINICIONES

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

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

4. CLASIFICACIÓN

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

a) **A base de harina de trigo.**

b) A base de almidones nativos o modificados.

c) A base de otros ingredientes. Son aquellas mezclas en polvo cuyos componentes principales son harinas de otros cereales, leguminosas, tubérculos, derivados lácteos o grasos.

5. REQUISITOS

5.1 Generalidades

5.1.1 Las materias primas utilizadas en la elaboración de mezclas deben cumplir con las Normas Técnicas Ecuatorianas vigentes.

5.1.2 El proceso de elaboración del producto debe cumplir con buenas prácticas de manufactura.

5.1.3 El producto debe estar exento de cualquier peligro físico, químico o biológico que afecte la inocuidad del producto.

5.2 Requisitos físico-químicos

TABLA 1. Requisitos físico-químicos

	Unidad	Máximo	Método de ensayo
Humedad	%	14,5	NTE INEN-ISO 712

5.3 Requisitos microbiológicos

TABLA 2. Requisitos microbiológicos

	Unidad	Caso	n	c	m	M	Método de ensayo
Recuento de mohos y levaduras	UFC/g	5	5	2	1×10^3	1×10^4	NTE INEN 1529-10

En donde:

- UFC = unidades formadoras de colonias
- n = número de unidades
- m = nivel de aceptación
- M = nivel de rechazo
- c = número de unidades permitidas entre m y M

5.3 Aditivos alimentarios

El uso de aditivos alimentarios debe cumplir con lo establecido en la NTE INEN-CODEX 192.

6. INSPECCIÓN

7.1 Muestreo. El muestreo debe realizarse de acuerdo a la NTE INEN-ISO 24333 y para la determinación de cantidad de muestras puede usarse NTE INEN-ISO 2859-1 para lotes continuos; para lotes aislados puede usarse la NTE INEN-ISO 2859-2.

8. ENVASADO Y EMBALAJE

8.1 El material de envase debe ser resistente a la acción del producto y no debe alterar las características del mismo.

ANEXO 8. ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE LOS GRITZ



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

NOMBRE PETICIONARIO: Srta. Poleth Carvajal
DIRECCIÓN: Cayambe – Ascázubi e Imbabura
FECHA DE EMISIÓN: 13-07-2018
ANÁLISIS SOLICITADO: Análisis proximales de materias primas

Parámetro Analizado	Unidad	Resultados			Método de ensayo
		Grits de Maíz	Grits de Fréjol	Grits de Camote	
Humedad	%	12,42	5,05	8,28	AOAC 930.15
Cenizas	%	0,63	3,57	2,27	AOAC 923.03
Proteína	%	9,42	22,11	2,98	AOAC 955.39
Extracto etéreo	%	2,09	2,3	1,06	AOAC 920.85
Fibra bruta	%	0,89	0,99	1,36	AOAC 978.10
Carbohidratos	%	75,44	66,97	85,41	Cálculo
Almidón	%	72,68	68,55	74,8	Polarimetría
Amilosa	%	21,04	16,76	23,49	Marrison y Laignele
Amilopectina	%	78,96	83,24	76,51	Cálculo


Ing. Elena Villacrés
RESPONSABLE TÉCNICO



ANEXO 9. ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE LAS MEZCLAS



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

NOMBRE PETICIONARIO: Srta. Poleth Carvajal
DIRECCIÓN: Cayambe – Ascázubi e Imbabura
FECHA DE EMISIÓN: 13-07-2018
ANÁLISIS SOLICITADO: Análisis proximales de mezclas

Parámetro Analizado	Unidad	Resultados		Método de ensayo
		Mezcla 1	Mezcla 2	
		70%Maíz 15%Fréjol 15%Camote	80%Maíz 10%Fréjol 10%Camote	
Humedad	%	9,37	9,92	AOAC 930.15
Cenizas	%	1,13	1,41	AOAC 923.03
Proteína	%	12,6	13,02	AOAC 955.39
Extracto etéreo	%	1,49	1,65	AOAC 920.85
Fibra bruta	%	0,34	0,4	AOAC 978.10
Carbohidratos	%	75,41	74	Cálculo

Elena Villacrés
Ing. Elena Villacrés
RESPONSABLE TÉCNICO



ANEXO 10. ANÁLISIS FUNCIONALES DE LOS TRATAMIENTOS



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

Tratamientos	Descripción	Resultados				
		Umíd	Índice de Expansión	Densidad aparente	Índice de absorción de agua	Índice de solubilidad de agua
T1	70% maíz+15% fréjol+15%camote; 15% humedad; 110°C	%	4,31	0,34	5,82	0,26
T2	70% maíz+15% fréjol+15%camote; 15% humedad; 140°C	%	4,63	0,32	5,01	0,29
T3	70% maíz+15% fréjol+15%camote; 20% humedad; 110°C	%	4,18	0,4	5,99	0,25
T4	70% maíz+15% fréjol+15%camote; 20% humedad; 140°C	%	3,57	0,58	6,07	0,25
T5	80% maíz+10% fréjol+10%camote; 15% humedad; 110°C	%	5,17	0,26	5,52	0,27
T6	80% maíz+10% fréjol+10%camote; 15% humedad; 140°C	%	5,02	0,29	5,07	0,28
T7	80% maíz+10% fréjol+10%camote; 20% humedad; 110°C	%	4,51	0,36	6,78	0,23
T8	80% maíz+10% fréjol+10%camote; 20% humedad; 140°C	%	3,8	0,37	5,87	0,23
Testigo	100% maíz	%	5,37	0,28	5,51	0,29


Ing. Elena Villacres
RESPONSABLE TÉCNICO

ANEXO 11. ANÁLISIS PROXIMALES 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°:	48 - 2017
Análisis solicitado por:	Srta. Poloth Carrajal
Empresa:	Particular
Muestreado:	Propietario
Fecha de recepción:	05 de febrero de 2018
Fecha de entrega informe:	01 de octubre de 2018
Ciudad:	Ibarra
Provincia:	Imbabura
Muestra:	Sanco de maíz, frijol y carne
No. de Lote	No aplica
No. Unidades Analizadas	27

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado			Metodo de ensayo
		T1	T2	T3	
Humedad	%	5,13	5,00	5,05	AOAC 925.10
Cenizas	%	0,57	1,36	1,33	AOAC 923.03
Extracto etéreo	%	0,54	0,50	0,42	AOAC 920.85
Proteína Total	%	8,32	8,73	12,48	AOAC 920.87
Fibra Total	%	0,64	1,13	1,23	AOAC 978.10
Carbohidratos Totales	%	85,44	83,61	80,73	Cálculo

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado			Metodo de ensayo
		T1	T4	T5	
Humedad	%	0,48	7,66	5,53	AOAC 925.10
Cenizas	%	1,25	1,18	1,20	AOAC 923.03
Extracto etéreo	%	0,41	0,40	0,54	AOAC 920.85
Proteína Total	%	10,41	8,72	9,76	AOAC 920.87
Fibra Total	%	1,28	1,19	1,05	AOAC 978.10
Carbohidratos Totales	%	78,45	82,03	82,99	Cálculo

Parámetro Analizado	Unidad	Resultado			Metodo de ensayo
		T6	T7	T8	
Humedad	%	5,35	7,07	8,02	AOAC 925.10
Cenizas	%	1,07	1,07	0,59	AOAC 923.03
Extracto etéreo	%	0,53	0,53	0,50	AOAC 920.85
Proteína Total	%	9,95	9,38	9,47	AOAC 920.87
Fibra Total	%	1,08	0,98	0,80	AOAC 978.10
Carbohidratos Totales	%	83,05	81,96	82,01	Cálculo

Los resultados obtenidos pertenecen exclusivamente para las muestras analizadas.

Atentamente:

Bog. 2028 Luis Moreno

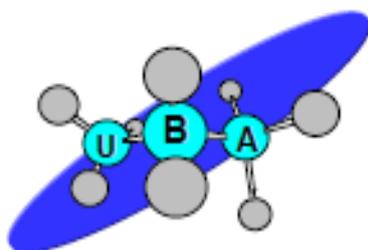
Técnico de Laboratorio

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 institucional.



Az. 17 de Julio 5-21 y José María Córdova, Barrio El Olivo.
Teléfono: (05)2937800
Fax: Ext. 7711.
Email: info@un-norte.edu.ec
www.un-norte.edu.ec

ANEXO 12. ANÁLISIS DEL PERFIL DE AMINOÁCIDOS



**Analytical
Laboratories**
Testing & Consulting

WWW.UBA-LAB.COM

INFORME DE RESULTADOS IDR 20319-2018

Fecha: 07 de Mayo del 2018

DATOS DEL CLIENTE						
Nombre	CARVAJAL BASANTES SASKIA POLETH					
Dirección	Ibarra: Av. 17 de Julio					
Teléfono	0987962627					
Contacto	Srta Saskia Carvajal B					
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	25 de Abril del 2018					
Fecha de Finalización del análisis	25 de Abril del 2018					
RESULTADOS						
PERFIL DE AMINOÁCIDOS						
CODIGO CLIENTE	CODIGO UBA	PARAMETROS	METODO	RESULTADOS	Unidad	Limite Detección (ppb)
Snacks Tratamiento # 1	UBA-20319-1	Acido Aparico	Burbach. Rudolph Institute Pre- Derivatización HPLC-FLD	0.48	µAA/100mL muestra Base Húmeda p/p	50
		Acido Glutámico		1.47		
		Serina		0.84		
		Histidina		0.88		
		Treonina		0.47		
		Glicina		0.30		
		Arginina		0.48		
		Alanine		0.42		
		Tirosina		1.81		
		Triptofano		0.00		
		Valina		0.68		
		Metionina		0.24		
		Fenil alanina		0.70		
		Isoleucina		0.48		
		Leucina		1.30		
Ucina	0.47					
Aminoácidos Totales (%)	10.71					
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

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