



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

### “EFECTO DE LA MEZCLA GRITZ DE MAÍZ *Zea mays* FRÉJOL *Phaseolus vulgaris* L Y DIÁMETRO DE BOQUILLA EN EL PRODUCTO EXTRUSADO”

Tesis presentada como requisito para optar por el Título de Ingeniero  
Agroindustrial

**Autor: Vicente Adrián Burbano Ormaza**

**Director: Ing. Ángel Edmundo Satama Tene MSc.**

**Ibarra-Ecuador**

**2018**

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS

AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

## “EFECTO DE LA MEZCLA GRITZ DE MAÍZ *Zea mays* FRÉJOL *Phaseolus vulgaris* L Y DIÁMETRO DE BOQUILLA EN EL PRODUCTO EXTRUSADO”

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

**INGENIERO/A AGROINDUSTRIAL**

**APROBADA:**

Ing. Ángel Edmundo Satama Tene, MSc.

**DIRECTOR DE TESIS**

Ing. Luis Armando Manosalvas Quiroz, MEng

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

Ing. Rosario del Carmen Espin, MSc

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

Ing. Juan Carlos de La Vega, MEng

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



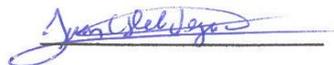
**FIRMA**



**FIRMA**



**FIRMA**



**FIRMA**



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

## BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

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

#### 1. IDENTIFICACION 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:	040186771-8
APELLIDOS Y NOMBRES:	Vicente Adrián Burbano Ormaza
DIRECCIÓN:	Ibarra, Calle Ibarra y Segundo Luis Moreno # 45
EMAIL:	adrianburbano52@yahoo.com
TELÉFONO FIJO:	06 3010-797
TELÉFONO MÓVIL:	0985400361
DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	“EFECTO DE LA MEZCLA GRITZ DE MAÍZ <i>Zea mays</i> FRÉJOL <i>Phaseolus vulgaris</i> L Y DIÁMETRO DE BOQUILLA EN EL PRODUCTO EXTRUSADO”
AUTOR:	Vicente Adrián Burbano Ormaza
FECHA:	02 de Julio de 2018.
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSTGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniero Agroindustrial
ASESOR / DIRECTOR:	Ing. Ángel Edmundo Satama Tene

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

Yo, VICENTE ADRIÁN BURBANO ORMAZA, con cédula de identidad número 040186771-8, 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

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

Ibarra, a los 02 días del mes de Julio de 2018.

**EL AUTOR:**



**Vicente Adrián Burbano Ormaza**

**0401867718**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por el Sr. Vicente Adrián Burbano Ormaza, bajo mi supervisión.

A handwritten signature in blue ink is positioned above a solid horizontal line. The signature is stylized and appears to be the name of the director, Angel Edmundo Satama Tene.

Ing. Ángel Edmundo Satama Tene

**DIRECTOR DE TESIS**

## DECLARACIÓN

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

Ibarra, a los 02 días del mes de Julio de 2018



Vicente Adrián Burbano Ormaza

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

Yo, Vicente Adrián Burbano Ormaza, con cédula de identidad Nro. 040186771-8, 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 autor de la obra o trabajo de grado denominado: **“EFECTO DE LA MEZCLA GRITZ DE MAÍZ *Zea mays* FRÉJOL *Phaseolus vulgaris* L Y DIÁMETRO DE BOQUILLA EN EL PRODUCTO EXTRUSADO”**, que ha sido desarrollado para optar por el título de: **INGENIERO AGROINDUSTRIAL** en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 02 días del mes de Julio de 2018



---

Vicente Adrián Burbano Ormaza

0401867718

## **AGRADECIMIENTO**

Al culminar con el trabajo de grado mi infinito agradecimiento a esta prestigiosa institución, Universidad Técnica del Norte la cual abrió sus puertas a jóvenes como yo, preparándonos para un futuro competitivo y formándonos como personas generadoras de cambios positivos en nuestra sociedad.

A la FICAYA en especial a la Carrera de Ingeniería Agroindustrial y sus dignos catedráticos, que pusieron todos sus conocimientos, para que, mediante la investigación y el esfuerzo personal, lleguemos a culminar con éxito nuestra carrera, y con sus sabios conocimientos han fraguado nuestro espíritu y han forjado nuestra personalidad.

Mi más profundo reconocimiento y gratitud imperecedera al MSc. Ángel Satama director de tesis quien me supo dar la debida orientación en los estancamientos y problemas que se presentaron, con su serena experiencia y vastos conocimientos guio ágil y acertada la ejecución de este trabajo.

A nuestros asesores: Ing. Luis Armando Manosalvas Quiroz, Ing. Rosario Espin, Juan Carlos de La Vega, quienes agradezco por su entrega y esmero ya que conmigo puso a prueba toda su entrega, y conocimientos y en el desarrollo del proyecto

**Vicente Adrián Burbano Ormaza**

## **DEDICATORIA**

Una vez que mi gran objetivo de llegar a convertirme en una excelente profesional y alcanzar mi título de ingeniero Agroindustrial. Quiero expresar mi más profundo reconocimiento de la más alta consideración y estima a mis Padres, quienes desde mi niñez me supieron enrumbar en el camino de la verdad, el respeto y la responsabilidad como valores ineludibles que marcan mi personalidad y al mismo tiempo DEDICAR el presente trabajo de investigación, porque con su amor abnegado han depositado en mi corazón esa semilla fecunda, que luego de germinar y crecer se apresta a dar el fruto de sencillez, humildad y trabajo. Dedico entonces mi esfuerzo y sacrificio a mis Padres por ser los gestores de este triunfo que engalana mi acervo cultural y me encamina a transformar la sociedad con equidad enmarcada en el cultivo de las potencialidades y en la igualdad de capacidades.... Para ustedes Padres queridos...con mucho amor y sacrificio....

**Vicente Adrián Burbano Ormaza**

# ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO	x
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 PROBLEMA	1
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO	2
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	3
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.	3
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	3
1.4 HIPÓTESIS DE TRABAJO	4
1.4.1 HIPÓTESIS ALTERNATIVA	4
1.4.2 HIPÓTESIS NULA	4
CAPITULO II	5
MARCO TEÓRICO	5
2.1 DESCRIPCIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS	5
2.1.1 FRÉJOL	5
2.1.2 DESCRIPCIÓN TAXONÓMICA DEL FRÉJOL	6
2.1.3 COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DEL FRÉJOL	7
2.1.4 VARIEDADES DE FRÉJOL EN EL ECUADOR	9
2.1.5 VARIEDAD DE FRÉJOL ARBUSTIVO CARGABELLO	9
2.1.6 MAÍZ	10
2.1.7 DESCRIPCIÓN TAXONÓMICA DEL MAÍZ	11
2.1.8 COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DEL MAÍZ.	12
2.1.9 VARIEDADES DE MAÍZ EN EL ECUADOR	13

2.1.10	GRÍTZ DE MAÍZ	13
2.2	LOS SNACK	15
2.2.1	SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVA DEL MERCADO DE LOS SNACKS	15
2.2.2	CALIDAD NUTRICIONAL DE LOS EXTRUIDOS	15
2.3	LA EXTRUSIÓN	16
2.3.1	ORIGEN	17
2.3.2	PROCESO DE EXTRUSIÓN	17
2.3.3	VENTAJAS DE LA EXTRUSIÓN SOBRE OTRAS TECNOLOGÍAS CONVENCIONALES	18
2.3.4	TIPOS DE EXTRUSIÓN	18
2.3.5	FACTORES QUE INFLUYEN EN LA EXTRUSIÓN	19
2.3.6	VARIABLES QUE CONTROLAN LA TEXTURA DE LOS PRODUCTOS EXPANDIDOS.	20
2.3.7	OPERACIONES UNITARIAS DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN	21
2.3.8	PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS QUE INFLUYEN EN LA EXTRUSIÓN	23
2.4	PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LAS MATERIAS PRIMAS QUE AFECTAN EL PROCESO DE EXTRUSIÓN	23
2.4.1	EL ALMIDÓN	24
2.4.2	PROTEÍNAS	26
2.4.3	GRASAS	27
2.4.4	FIBRA	28
2.4.5	CONTENIDO DE HUMEDAD	28
2.4.6	TAMAÑO DE LA PARTÍCULA	29
2.4.7	FORMULACIÓN DE LA MEZCLA	30

2.5	EXTRUSORES	30
2.6	ESPECIFICACIONES DEL EXTRUSOR UTILIZADO	41
2.7	SECADO	38
CAPITULO III		40
MATERIALES Y MÉTODOS.		40
3.1	CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	40
3.2	MATERIALES.	41
3.2.1	MATERIA PRIMA E INSUMOS	41
3.2.2	EQUIPOS Y HERRAMIENTAS	41
3.3	DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.	41
3.3.1	FACTORES EN ESTUDIO	43
3.3.2	TRATAMIENTOS.	43
3.3.3	CARACTERÍSTICAS DEL EXPERIMENTO.	44
3.3.4	CARACTERÍSTICAS DE LA UNIDAD EXPERIMENTAL.	44
3.3.5	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.	45
3.3.6	ANÁLISIS FUNCIONAL	45
3.4	VARIABLES A EVALUADAS.	45
3.4.1	VARIABLES CUANTITATIVAS	45
3.4.2	VARIABLES CUALITATIVAS	47
3.5	MANEJO ESPECÍFICO DEL EXPERIMENTO.	48
3.5.1	DIAGRAMA DE FLUJO DE OBTENCIÓN DE GRITZ DE FRÉJOL	49
3.5.2	DIAGRAMA DE FLUJO PARA OBTENCIÓN DEL PRODUCTO EXTRUIDO	50
CAPÍTULO IV		54

4. RESULTADOS Y DISCUSIONES. _____	54
4.1 MATERIAS PRIMAS _____	54
4.1.1 PROPIEDADES FÍSICO - QUÍMICAS (HUMEDAD, FIBRA, CARBOHIDRATOS, GRASA Y PROTEÍNA) DE LAS MATERIAS PRIMAS. _____	54
4.1.2 CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN DE FRÉJOL _____	56
4.2 PRODUCTO EXTRUIDO _____	59
4.2.1 ÍNDICE DE EXPANSIÓN _____	59
4.3. RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS DEL PRODUCTO EXTRUIDO _____	88
CAPITULO V _____	91
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES _____	91
5.1 CONCLUSIONES. _____	91
5.2 RECOMENDACIONES _____	91
CAPITULO VI _____	93
BIBLIOGRAFIA _____	93
CAPITULO VII _____	98
ANEXOS _____	98

## ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1. Clasificación botánica del fréjol .....	6
Tabla 2. Composición proximal (g/100g en base seca) semilla de fréjol .....	7
Tabla 3. Variedades de fréjol en el Ecuador .....	9
Tabla 5. Ciclo vegetativo variedad arbustivo cargabello .....	10
Tabla 6. Clasificación taxonómica del maíz .....	11
Tabla 7. Composición nutricional del maíz .....	12
Tabla 8. Porcentaje de amilosa en el almidón de maíz .....	12
Tabla 9. Parametros del diseño de tornillo de extrusión.....	35
Tabla 10. Características del equipo .....	42
Tabla 11. Características ambientales de la localización del experimento. ....	40
Tabla 12. Condiciones ambientales de la ciudad de Quito. ....	40
Tabla 13. Materia Prima e Insumos .....	41
Tabla 14. Equipos y Herramientas.....	41
Tabla 15. Factor “A” (mezcla de gritz de maíz-gritz de fréjol) .....	43
Tabla 16. Factor “B” (Diámetro de salida de la boquilla).....	43
Tabla 17. Simbología de los tratamientos.....	44
Tabla 18. Análisis de Varianza .....	45
Tabla 19. Análisis de Varianza .....	45
Tabla 20. Pruebas de evaluación en la materia prima y producto final .....	46
Tabla 21. Metodos utilizados para la determinación de amilosa,amilopectina y grado de gelatinización .....	46
Tabla 22. Pruebas organolépticas de aceptabilidad del producto extruido. ....	47
Tabla 23. Análisis microbiológico.....	48
Tabla 24. Resultados de la composición físico – químicas de las materias primas. ....	54
Tabla 25. Resultados del proceso de gelatinización del almidón de fréjol. ....	57
Tabla 26. Contenido de almidón, amilosa y amilopectina entre maíz –fréjol.....	57
Tabla 27. Resultado promedio, para el índice de expansión de cada tratamiento.....	59
Tabla 28. Análisis de Varianza. ....	60
Tabla 29. Prueba de TUKEY al 5 % para Tratamientos para la variable: Índice de expansión.....	61
Tabla 30. Prueba de DMS al 5 % para Factor A para la variable: índice de expansión....	61
Tabla 31. Prueba de DMS al 5 % para Factor B para la variable: índice de expansión....	62
Tabla 32. Promedios obtenidos de cada unidad experimental .....	64

Tabla 33. Analisis de Varianza .....	64
Tabla 34. Prueba de TUKEY al 5 % para Tratamientos para la variable Humedad(%) ...	65
Tabla 35. Prueba de DMS al 5 % para Factor B para la variable Humedad (%) .....	65
Tabla 36. Promedios obtenidos de cada unidad experimental .....	66
Tabla 37. Analisis de Varianza .....	67
Tabla 38. Prueba de TUKEY al 5 % para Tratamientos para la variable Protíena(%) .....	67
Tabla 39. Prueba de DMS al 5 % para Factor A para la variable Protíena (%) .....	68
Tabla 40. Prueba de DMS al 5 % para Factor B para la Protíena (%) .....	68
Tabla 41. Promedios obtenidos de cada unidad experimental .....	70
Tabla 42. Análisis de Varianza .....	71
Tabla 43. Prueba de TUKEY al 5 % para Tratamientos para la Grasa (%) .....	71
Tabla 44. Prueba de DMS al 5 % para Factor A para la Grasa .....	72
Tabla 45. Promedios obtenidos de cada unidad experimental .....	74
Tabla 46. Analisis de Varianza .....	74
Tabla 47. Promedios obtenidos de cada unidad experimental. ....	76
Tabla 48. Analisis de Varianza .....	76
Tabla 49. Prueba de DMS al 5 % para Factor A para la variable fibra .....	76
Tabla 50: Resultados de rangos obtenidos para el color .....	79
Tabla 51: Resultados del cálculo para la variable color .....	79
Tabla 52: Resultados de rangos obtenidos para el olor. ....	81
Tabla 53: Resultados del cálculo para la variable olor .....	81
Tabla 54: Resultados de rangos obtenidos para el sabor .....	83
Tabla 55: Resultados del cálculo para la variable sabor .....	83
Tabla 56: Resultados de rangos obtenidos para la textura .....	85
Tabla 57: Resultados del cálculo para la variable textura .....	85
Tabla 58: Escala de Aceptabilidad Para los Consumidores .....	86
Tabla 59: Resultados del cálculo en la variable de aceptabilidad .....	87
Tabla 60: Resultados microbiológicos del producto extruido .....	88

## ÍNDICE DE FIGURAS.

Figura 1. Fréjol variedad cargabello (Rojo moteado) .....	5
Figura 2. Maíz amarillo.....	11
Figura 3. Maíz amarillo.....	14
Figura 4. Representación esquemática de un extrusor de husillo sencillo.....	34
Figura 5. Zonas de una extrusora y evolución de la presión a lo largo de la misma .....	34
Figura 6. Tornillo de extrusión utilizado en la investigación.....	35
Figura 7. Cilindro de calefacción-tornillo.....	36
Figura 8. Tolva de alimentación rectangular.....	37
Figura 9. Boquillas de salida de 3 y 5mm.....	38
Figura 10. Secador de bandejas utilizado en el experimento.....	39
Figura 11. Extrusor utilizado en el experimento.....	42
Figura 12. Diagrama de proceso de desarrollo de griz de fréjol.....	49
Figura 13. Diagrama de proceso obtención del producto extruido.....	51
Figura 14: Gránulos de almidón.....	56
Figura 15: Resultados obtenidos para el índice de expansión. ....	60
Figura 16. Resultados del índice de expansión del producto extruido.....	63
Figura 17. Contenido de humedad en el producto extruido.....	66
Figura 18. Contenido de proteína en el producto extruido.....	69
Figura 19. Contenido de grasa en el producto extruido .....	73
Figura 20: Contenido de carbohidratos en el producto extruido.....	75
Figura 21. Contenido de fibra para el producto extruido.....	77
Figura 22. Resultados de rangos obtenidos para color.....	80
Figura 23. Resultados de rangos obtenidos para el olor.....	82
Figura 24. Resultados de rangos obtenidos para el sabor .....	84
Figura 25. Resultados de los rangos obtenidos para la textura .....	86
Figura 26. Valoración de aceptabilidad .....	87
Figura 27. Diagrama de proceso para el mejor tratamiento.....	89

## RESUMEN

El fréjol *phaseolus vulgaris* L, es un alimento rico en proteína y fibra, por lo que cumple un papel importante en la dieta de la población latinoamericana siendo considerado un componente básico en la alimentación humana, que puede sustituir la materia prima comúnmente utilizada en los alimentos extruidos,(maíz). Es por ello que esta investigación plantea evaluar el efecto de la mezcla griz de maíz *zea mays* fréjol *phaseolus vulgaris* L, conjuntamente con el diámetros de salida de la boquilla del extrusor de (3mm y 5mm), sobre las propiedades físico químicas (humedad, fibra, carbohidratos, grasa y proteína), organolépticas (color, sabor, olor, textura y aceptabilidad) y microbiológicas (recuento total, mohos y levaduras) del producto extrusado, para lograr este objetivo inicialmente, se caracterizó el almidón de fréjol respecto a su forma, concluyendo que es fusiforme ya que no presentó una forma definida y se evaluó la concentración de almidón en el grano de fréjol obteniendo como resultados un valor de 45,02 % del cual el 16,90% es contenido de amilosa y un 28,12% de amilopectina, lo cual es una concentración óptima para obtener un producto extrusado inflado y quebradizo, (entre 5% y 20 % de amilosa). Se plantearon 6 tratamientos, destacándose como mejor la mezcla de 85% maíz y 15% fréjol con un diámetro de salida de boquilla de 5mm, ya que el producto final presentó 17,11 % de proteína y 0,71 % de fibra, contenido mayor a los snacks que se ofrecen en el mercado, además que destacó en las evaluaciones sensoriales de aceptabilidad en todas sus propiedades.

## SUMMARY

The *Phaseolus vulgaris* L, is a food rich in protein and fiber, so it plays an important role in the diet of the Latin American population being considered a basic component in human nutrition, which can replace the raw material commonly used in food extruded, (corn). That is why this research proposes to evaluate the effect of the corn gritz mixture *zea mays fréjol phaseolus vulgaris* L, together with the exit diameters of the extruder nozzle (3mm and 5mm), on the physical and chemical properties (moisture, fiber , carbohydrates, fat and protein), organoleptic (color, taste, smell, texture and acceptability) and microbiological (total count, molds and yeasts) of the extruded product, to achieve this goal initially, bean starch was characterized with respect to its shape , concluding that it is fusiform since it did not present a defined form and the concentration of starch in the bean grain was evaluated, obtaining as a result a value of 45.02% of which 16.90% is amylose content and a 28.12% amylopectin, which is an optimal concentration to obtain an extruded product that is inflated and brittle (between 5% and 20% amylose). Six treatments were proposed, standing out as the best mixture of 85% corn and 15% beans with a nozzle outlet diameter of 5mm, since the final product presented 17.11% protein and 0.71% fiber, higher content snacks that are offered in the market, also highlighted in the sensory evaluations of acceptability in all its properties.

# **CAPÍTULO I**

## **INTRODUCCIÓN**

### **1.1 PROBLEMA**

La baja disponibilidad de alternativas de desarrollo tecnológico para el procesamiento de cereales y leguminosas como el fréjol, genera pérdidas económicas en los productores debido a la sobreproducción en épocas de cosecha por lo que los precios del producto no son rentables, además de ocasionar desaprovechamiento nutricional como una fuente de materia prima para la obtención de nuevos productos que serían de beneficio para una alimentación saludable ya que aportan proteína, fibra, carbohidratos entre otros que son de gran beneficio nutricional.

Los snacks son alimentos con altos niveles de sal, azúcar y grasa por lo que pueden ser perjudiciales nutricionalmente cuando son consumidos regularmente como remplazo de la comida tradicional (FAO, 2010). En la actualidad se opta por el consumo más seguido de este tipo de productos como un complemento o reemplazo en la alimentación diaria ya que se encuentran listos y de fácil acceso para el consumo los cuales se ajustan a un ritmo acelerado de vida que se da principalmente en los sectores urbanos.

Las empresas hoy en día buscan únicamente reducir costos para generar mayor utilidad a su favor, mediante la utilización de materias primas de bajo aporte nutricional que como resultado producen alimentos de baja calidad nutritiva.

La producción de snacks mediante la tecnología de extrusión puede ocasionar pérdidas y cambios en las características organolépticas si no se define parámetros adecuados para cada tipo de materia prima, debido a que en el proceso de extrusión influyen factores como: la temperatura, velocidad de cizalladura y presión de boquilla del extrusor.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

La presente investigación trata de definir un proceso y los parámetros adecuados para la elaboración de un snack, a base de griz de maíz y fréjol, los cuales mantengan o tengan variación mínima del contenido nutricional de la materia prima.

Generar un producto de calidad, que aporte nutrientes como: proteína, fibra, carbohidratos entre otros, que contribuya a una alimentación saludable y a su vez dar un valor agregado e innovar el producto con la incorporación de la tecnología de extrusión, para lo cual se dispone de un equipo apto para realizar la investigación.

Con la tecnología de extrusión, se busca obtener mayores beneficios, ya que, con las altas temperaturas alcanzadas propician la desactivación de factores tóxicos o anti nutricionales, también la destrucción de la carga microbiana y se obtiene producto altamente digestible. (Garcia, 2012).

Con este snack a base de griz de maíz y fréjol se desea contribuir al desarrollo socio económico dentro del campo agropecuario y agroindustrial, mediante la industrialización y comercialización de esta leguminosa.

## **1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

### **1.3.1 OBJETIVO GENERAL.**

Evaluar el efecto de la mezcla griz de maíz *Zea mays* fréjol *Phaseolus vulgaris* L y el diámetro de boquilla del producto extrusado.

### **1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Determinar las propiedades físicas químicas (humedad, fibra, carbohidratos, grasa y proteína), de las materias primas.
- Caracterizar el almidón de fréjol respecto a su forma, contenido de (amilosa y amilopectina) y grado de gelatinización.
- Evaluar la mejor mezcla griz de maíz *Zea mays* fréjol *Phaseolus vulgaris* L, considerando el diámetro de boquilla, mediante el índice de expansión del producto extruido.
- Determinar las propiedades físico químicas (humedad, fibra, carbohidratos, grasa y proteína); organolépticas (color, sabor, olor, textura y aceptabilidad) y microbiológicas (recuento total, mohos y levaduras) del producto extrusado.

## **1.4 HIPÓTESIS DE TRABAJO**

### **1.4.1 HIPÓTESIS ALTERNATIVA**

**Hi:** La mezcla de gritz de maíz *Zea mays* fréjol *Phaseolus vulgaris* L, considerando el diámetro de boquilla influyen sobre el índice de expansión y propiedades físico químicas (humedad, fibra, carbohidratos grasa y proteína).

### **1.4.2 HIPÓTESIS NULA**

**Ho:** La mezcla de gritz de maíz *Zea mays* fréjol *Phaseolus vulgaris* L, considerando el diámetro de boquilla no influyen sobre el índice de expansión y propiedades físico químicas (humedad, fibra, carbohidratos grasa y proteína).

## **CAPITULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1 DESCRIPCIÓN DE LAS MATERIAS PRIMAS**

##### **2.1.1 FRÉJOL**

El fréjol es una leguminosa perteneciente a la familia Fabaceae, originario del continente americano. Es un alimento rico en proteína y fibra, por lo que cumple un papel importante en la dieta de la población latinoamericana; su consumo puede ser en tierno y en seco. En Ecuador y en algunos países Andinos, se cosecha en dos tipos de estados: tierno y seco; el fréjol tierno es el que más se cosecha en un 61%, según el Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP, 2013).



**Figura 1.** Fréjol variedad cargabello (Rojo moteado)

La superficie de siembra de fréjol en Ecuador comprende 121 mil hectáreas, es un cultivo que aporta entre el 40 y 70% del ingreso familiar para el agricultor. También es un producto no perecible que puede almacenarse para su consumo durante todo el año (Peralta, 2012).

Hasta hace poco, el país consumía únicamente del 20% de la producción, mientras que el 80% restante se destinaba a la exportación hacia Colombia; actualmente el Gobierno ecuatoriano adquiere un 20% de la producción para sus programas de alimentación, lo que suma el 40% para el consumo nacional. La importancia de este producto también radica en que la comercialización se realiza a nivel de pequeños productores, lo que amplía el incentivo para el cultivo y mejorar su calidad de vida (Peralta, 2012).

### 2.1.2 DESCRIPCIÓN TAXONÓMICA DEL FRÉJOL

Según Valladares (2010), la clasificación taxonómica del fréjol se detalla en la tabla 1.

**Tabla 1.** Clasificación taxonómica del fréjol.

<b>Reino:</b>	Plantae
<b>División:</b>	Magnoliophyta
<b>Clase:</b>	Magnoliopsida
<b>Orden:</b>	Fabales
<b>Familia:</b>	Fabaceae
<b>Género:</b>	Phaseolus
<b>Nombre científico:</b>	Phaseolus vulgaris L.
<b>Nombres comunes:</b>	fréjol, frijol, poroto

Fuente: (Valladares C. A., 2010)

El fréjol, por disponer aproximadamente un 22% de proteínas, es considerado importante componente básico en la alimentación humana, es relativamente económico si se compara con las proteínas de origen animal, especialmente la carne.

Además, es una leguminosa que mejora los suelos debido a las bacterias nitrificantes que se adhieren a las raíces (Nanni & Bitocchi, 2011).

### 2.1.3 COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DEL FRÉJOL

“El fréjol es una leguminosa que constituye una rica fuente de proteínas e hidratos de carbono, fibra, además posee vitaminas del complejo B, como: niacina, riboflavina, ácido fólico y tiamina; también proporciona hierro, cobre, zinc, fósforo, potasio, magnesio y calcio (García, 2012).

El alto contenido de hierro en el fréjol es elemento vital para el buen desarrollo cerebral en los pequeños, ya que ayuda a corregir desórdenes biliares, enfermedades reumáticas; además disminuye la tasa de colesterol y es eficaz contra la anemia.

De acuerdo a García (2012). “la importancia alimenticia radica en que es una fuente que aporta grandes cantidades de proteína y fibra alimenticia”, como se detalla en la tabla 2.

**Tabla 2.** Composición proximal (g/100g en base seca) semilla de fréjol

COMPONENTE	FRÉJOL
Proteínas cruda %	25.61
Grasas %	3.22
Agua %	10.20
Cenizas %	3.13
Fibra cruda %	7.90
Extracto Libre de Nitrogeno %	49.68
Energía (Kcal/Kg)	2,714.12

Fuente (García, 2012).

### **2.1.3.1 Amilosa y amilopectina en el almidón de fréjol.**

Las leguminosas son fuente potencial de almidón, representando entre un 30 y 50% de su peso seco, este constituye una fuente de energía esencial para el hombre. Actualmente su uso se ha extendido en la industria de alimentos como aditivo o materia prima en compuestos alimentarios, debido a sus características nutricionales, funcionales, propiedades como agente espesante y estabilizante de suspensiones y dispersiones.

En la investigación de Miranda *et al.* (2013) se evaluaron algunas propiedades funcionales del almidón de fréjol; se obtuvo una temperatura de gelatinización inicial y final de (71°C) y (81°C) respectivamente, la solubilidad fue de 8,3% a 90°C, el poder de hinchamiento alcanzó 6,6% a 80°C, y la capacidad de retención de agua estuvo en 4,4% a 80°C. La viscosidad aparente fue evaluada entre 20 y 75°C dando como resultados viscosidades entre 1,096 y 0,98 Cp respectivamente. Los resultados mostraron que las temperaturas ensayadas inciden significativamente en la solubilidad, poder de hinchamiento, capacidad de retención de agua y viscosidad del almidón.

El contenido de amilosa y amilopectina fue de 21,1% y 78,19%. Finalmente, se obtuvo 9,24% de almidón resistente, y se comparó con otras fuentes convencionales no amiláceas, con miras a adquirir nuevos conocimientos acerca de este material nativo de la costa Caribe colombiana.

## 2.1.4 VARIEDADES DE FRÉJOL EN EL ECUADOR

Según García (2012), las variedades que actualmente se cultivan en el Ecuador se muestran en la tabla 3.

**Tabla 3.** Variedades de fréjol en el Ecuador

<b>NOMBRE</b>	<b>TIPO DE GRANO</b>
Vilcabamba	Crema moteado
Yunguilla (Tipo cargabello)	Rojo moteado
Blanco Imbabura	Blanco grande
Percal blanco	Blanco mediano
Cocacho	Amarillo mediano
Peruano	Crema alargado
Chabelo	Rojo moteado grande
Mantequilla	Crema mediano
Cargabello	Rojo moteado
Imbabello	Rojo moteado
Jema	Rojo moteado

Fuente: (García, 2012).

## 2.1.5 VARIEDAD DE FRÉJOL ARBUSTIVO CARGABELLO

En esta investigación se utilizó la variedad de fréjol Arbustivo Cargabello proveniente de selección masal hacia plantas de hábito de crecimiento determinado, tipo I, de alto rendimiento, buena sanidad de planta, vainas y buen color de grano.

Es ampliamente sembrado en los valles bajos de la Sierra ecuatoriana, en primera instancia se lo denominó como “Cargabello Seleccionado”, desde el año de 1984 hasta su liberación del año de 1987 con la denominación de INIAP-404 sus características generales de esta variedad se detallan en la tabla 4 y su ciclo vegetativo en la tabla 5.

**Tabla 4.** Características generales variedad arbustivo cargabello

<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>	
Color de la flor	Blanca
Habito de crecimiento	Determinado, tipo I
Tamaño de grano	Grande
Peso de 100 semillas	45 g
No. De semillas por vaina	4
Longitud de semilla	13 mm
Diametro de semilla	8 mm
Forma de semilla	Oblonga
Porcentaje de proteína	22%
Rendimiento promedio	1556 kg/ha

Fuente: (INIAP, 2004)

**Tabla 5.** Ciclo vegetativo variedad arbustivo cargabello

<b>CICLO VEGETATIVO</b>	
Días de floración	50
Días de maduración fisiológica	100
Días de maduración (Cosecha)	110
Pisos altitudinales	Entre 1600 a 2500 m

Fuente: (INIAP, 2004)

### **2.1.6 MAÍZ**

Otra de las materias primas utilizadas en la investigación fue el maíz, Su nombre científico es *Zea mays* L. es uno de los cereales más importantes en la industria, debido a su alto contenido de almidón, siendo uno de los más importantes en la alimentación figura 2. Pero la concentración de proteína es más bajo que el de otros cereales (INIAP, 2014).



**Figura 2.** Maíz amarillo

Según la investigación realizada por Bonill (2010), menciona que el cultivo de maíz ocupa el tercer lugar en la producción mundial después del trigo y el arroz. Es un cereal que se adapta ampliamente a diversas condiciones ecológicas y edáficas, es por esta razón que se la cultiva en casi todo el mundo.

### **2.1.7 DESCRIPCIÓN TAXONÓMICA DEL MAÍZ**

Según Valladares (2010), la clasificación taxonómica del maíz se muestra en la tabla 6.

**Tabla 6.** Clasificación taxonómica del maíz

<b>Reino:</b>	Plantae
<b>División:</b>	Magnoliophyta
<b>Clase:</b>	Liliopsida
<b>Orden:</b>	Poales
<b>Familia:</b>	Poaceae
<b>Género:</b>	Zea
<b>Nombre científico:</b>	Zea mays L
<b>Nombres comunes:</b>	Maiz

Fuente (Valladares, 2010)

### 2.1.8 COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DEL MAÍZ.

El 75% del peso del grano de maíz corresponde al contenido de almidón (como se muestra en la tabla 7), 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 con mejores características nutricionales (Muños, 2012).

**Tabla 7.** Composición nutricional del maíz

PARÁMETROS	PORCENTAJE ( % )
Almidón	75,00
Proteína	7,68
Fibra	2,46
Grasa	5,00
Ceniza	1,65

Fuente: (INIAP, 2014)

#### 2.1.8.1 Amilosa y amilopectina en el almidón de maíz.

En la tabla 8 se puede observar la cantidad de amilosa y sus temperaturas de gelatinización y gelificación del almidón de maíz.

**Tabla 8.** Porcentaje de amilosa en el almidón de maíz

Almidón	Amilosa (%)	Temperatura de gelatinización(°C)	Temperatura de gelificación(°C)
Maíz	25	62 – 67	80

Fuente: (FAO, 2004)

Los gránulos de almidón de maíz presentan el 25% de amilosa y lo que resta de amilopectina aproximadamente de un 75%, el almidón presente tiene baja digestibilidad debido a su granulometría y debido al porcentaje de amilosa principal factor que da la fácil y rápida digestibilidad (FAO, 2004).

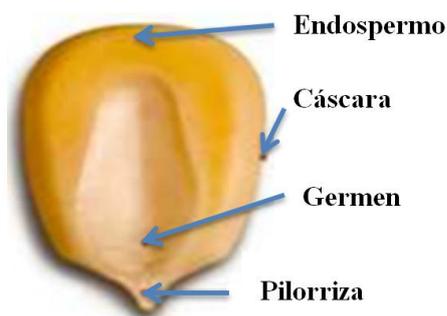
### **2.1.9 VARIEDADES DE MAÍZ EN EL ECUADOR**

Según Valladares (2010), las variedades de maíz en el Ecuador se describen a continuación:

- **Maíz dulce.** Se utiliza para comer como verdura cuando es joven.
- **Maíz de corteza dura.** Variedad americana de maíz que se caracteriza por tener una corteza bastante dura.
- **Pop corn (palomitas de maíz).** Se caracteriza por la capacidad explosiva de la cubierta al ser sometida al calor.
- **Maíz de harina.** Variedad que posee el contenido de almidón muy blando y se utiliza para hacer harina.

### **2.1.10 GRITZ DE MAÍZ**

El gritz es una sémola de maíz que se forma por el fraccionamiento del endospermo duro, que es rico en almidón y no posee la grasa propia del grano de maíz. Para su elaboración se utiliza el grano de maíz amarillo de endospermo duro, ya que el mismo se torna favorable para la extracción del gritz en su forma más pura, considerando que aprovechamos el 60% del grano de maíz para obtener el gritz, y durante el proceso de molienda en un 32% obtenemos harina y germen en un 8%, maíz figura 3.



**Figura 3.** Maíz amarillo

Para obtener en griz se pasa por un proceso de desgerminación, durante el cual se puede utilizar dos técnicas de molienda: seca o húmeda, según el uso del producto final deseado. Si se desea almidón de maíz, etanol o miel de maíz, se emplea la molienda húmeda, mientras que por molienda seca se obtiene el griz de maíz para la fabricación de snacks o botanas, hojuelas de maíz (cereales).

El maíz es materia prima importante para la producción del griz, cuya cosecha se la puede obtener de las provincias de Manabí en 22%, Guayas en un 21% y Los Ríos en un 33%.

Según el Magap (2017), existe alrededor de 283 ha de cultivos de maíz duro distribuidas principalmente en el sector de Intag, siendo una de las principales zonas de producción de Imbabura.

El rendimiento nacional del cultivo de maíz duro (13% de humedad y 1% de impurezas) para el invierno 2016 fué de 5.53 (t/ha). A nivel nacional el rendimiento promedio fue superior en 2% respecto al invierno 2015, debido a una mayor inversión en el cultivo que han realizado los productores para mejorar sus ingresos monetarios. La producción de maíz duro en este período de análisis tuvo un comportamiento en rendimientos distinto para las diferentes zonas de producción (Castro, 2017).

## **2.2 LOS SNACK**

“Snack” es una palabra inglesa que se puede traducir por bocaditos o comida rápida. Son alimentos en porciones pequeñas, individuales, de fácil consumo, fácil manipulación, que no requieren manipulación previa al consumo y que están destinados a satisfacer el hambre entre las comidas formales. Los “Snack” son el símbolo del alimento que satisface las demandas de una sociedad en movimiento, asociados a nuevos hábitos de vida (Esteves, 2015).

El cambio de estilo de vida y el entorno social en la actualidad ha incrementado el consumo de snack en la dieta habitual, en especial de los adolescentes. Los snacks pueden ser nutritivos cuando su elaboración es a base de frutas, tubérculos, leguminosas, cereales y otros. Por lo tanto, si los snacks son parte de una dieta variada, pueden ser una importante fuente de proteína y energía, (Mataix, 2012).

Los denominados snacks, son alimentos elaborados por medio de fritura, extrusión, deshidratación, en investigaciones realizadas por la FAO (2010) menciona que este alimento puede ser fabricado con una amplia gama de materias primas y procesos. El procedimiento más utilizado es la fritura, pero existen otros como la extrusión o el horneado. La producción de snacks es infinita, puesto que se tiene un área innumerable en colores formas, tamaños y sabores para el momento de fabricar.

### **2.2.1 SITUACIÓN ACTUAL Y PERSPECTIVA DEL MERCADO DE LOS SNACKS**

Moran (2012), en su investigación menciona que la industria de alimentos y snacks del Ecuador experimenta un crecimiento de 10% anual en su demanda. Por ello se ha tenido que implementar nuevas líneas de producción. El incremento de la demanda se debe al cambio de hábitos alimenticios, en especial en la población de los países industrializados, ya que dedican poco tiempo a las comidas, particularmente al medio día, creciendo así el hábito de llevar al trabajo porciones de snacks.

### **2.2.2 CALIDAD NUTRICIONAL DE LOS SNACKS EXTRUIDOS**

Las pérdidas de las propiedades nutricionales en los alimentos extruidos dependen del tipo de materia prima, contenido en agua, tiempo y la temperatura en el proceso, sin embargo las condiciones de la extrusión con cocción y el enfriamiento rápido del producto a la salida de la boquilla, hacen que la disminución de vitaminas y aminoácidos esenciales sean relativamente pequeñas (Fernandez, 2010).

## **2.3 LA EXTRUSIÓN**

Uno de los procesos utilizados para la elaboración de snacks es la extrusión, que consiste en 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. 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, leguminosas y semillas (Torres, 2009).

El proceso de extrusión de alimentos es una forma de cocción rápida, continua y homogénea. Mediante este proceso mecánico de inducción de energía térmica y mecánica, se aplica al alimento procesado alta presión y temperatura (en el intervalo de 100-180°C), durante un breve espacio de tiempo. Como resultado, se producen una serie de cambios en la forma, estructura y composición del producto Pérez *et al.*, (2012).

Debido a la intensa ruptura y mezclado estructural que provoca este proceso, se facilitan reacciones que, de otro modo, estarían limitadas por las características disfuncionales de los productos y reactivos implicados.

Este tipo de técnicas, se emplea generalmente para el procesado de cereales y proteínas destinados a la alimentación humana y animal. Asimismo, se trata de un proceso que opera de forma continua, de gran versatilidad y alto rendimiento productivo. Pérez *et al.*, (2012).

### **2.3.1 ORIGEN**

La cocción por extrusión se introdujo por primera vez en procesamiento de alimentos en piensos a finales de 1950. Desde entonces, los sistemas involucrados han crecido en popularidad, eficiencia y flexibilidad, la extrusión tecnología de cocción es la más utilizada para el cereal y la proteína de procesamiento de la industria alimentaria y está estrechamente relacionada para los sectores de alimentos para mascotas y piensos. En la última década el desarrollo de extrusoras han evolucionado para producir productos sofisticados, nueva generación de sabor, encapsulación y esterilización. Pérez *et al.*, (2012)

### **2.3.2 PROCESO DE EXTRUSIÓN**

El proceso fundamental de extrusión consiste en un aparato generador de presión, el cual causa que el producto se mueva como un líquido en un flujo laminar a través de una resistencia. Estos dos componentes, flujo y resistencia, determinan el proceso de extrusión y el tipo de producto que hace. La presión y el flujo pueden ser causados por un número de mecanismos, incluyendo pistones y rodillos. Aunque estos son utilizados en muchos casos, el uso de tornillos es más importante. Los tornillos no solo movilizan el producto hacia adelante, generando presión, sino que también lo mezclan, ayudando a la generación y transferencia de calor, y a la texturización y homogenización. El producto que se encuentra en el canal de un tornillo rotatorio es cortado, esto significa que se adhiere a dos superficies diferentes (tornillo y barril) que se mueven respecto a cada uno. La velocidad del producto en el canal varía de cero (en el barril) a un máximo en la superficie del tornillo. En este gradiente de velocidad, las capas del producto se deslizan unas sobre otras. A esto se le llama corte, un factor muy importante en extrusión de tornillo. La razón del corte es proporcional a la velocidad y diámetro del tornillo e inversamente proporcional a la profundidad del canal. El corte hace que un producto se estire, acelera la gelatinización de almidones y otras reacciones, alinea moléculas de cadena larga y puede depolimerizarlas (causando dextrinización). Cuando se utilizan para cocción, los extrusores deben generar calor (energía) 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, ya sea dentro o antes del extrusor. La energía mecánica (conversión) es generada por corte. Los productos alimenticios trabajados por extrusión son muy viscosos, ellos resisten el corte generando fuerzas de fricción entre las capas en movimiento del producto. Para sobrepasar estas fuerzas, se requiere energía, la cual se convierte en calor en el producto (Torres, 2009).

### **2.3.3 VENTAJAS DE LA EXTRUSIÓN SOBRE OTRAS TECNOLOGÍAS CONVENCIONALES**

- Alcanza una eficiente transferencia de energía dentro de la masa y con alta temperatura.
- Posee una gran capacidad de producción con poca inversión de capital y espacio.
- Las operaciones se realizan en forma continua y automática.
- Se logra una uniformidad en la cocción del alimento.
- No produce agentes contaminantes durante su tiempo de trabajo.
- Posee la posibilidad de utilizar una amplia gama de ingredientes.
- Se obtiene una gran diversidad de formas en los productos.

### **2.3.4 TIPOS DE EXTRUSIÓN**

Existen dos tipos de extrusión aplicada a la producción de alimentos: extrusión en frío y termoplástico. Esta última es la más popular y versátil desde el punto de vista funcional, la extrusión termoplástica se puede subdividir en dos grupos: extrusión de productos expandidos y extrusión de productos comprimidos o pellets. En la extrusión, la combinación de calor y esfuerzo mecánico proporcionan la gelatinización de los gránulos de almidón, la desnaturalización de las proteínas, la inactivación de enzimas que afectan directamente la vida de anaquel, la desactivación de compuestos anti nutricionales la drástica o total eliminación de cuentas microbianas en el producto a la salida del extrusor, pequeñas pérdidas de

vitaminas, desarrollo de pardeamiento enzimático e incluso aparición de ciertos aromas y sabores. Estos últimos pueden influir en la apariencia y gusto del producto (Torres, 2009).

Todo el proceso de cocción del producto se realiza en poco tiempo (10 a 60 s), de ahí que esta cocción sea considerada como un proceso de alta temperatura y corto tiempo (HTST). Los extrusores HTST se emplean típicamente para ingredientes de alimentos con bajo contenido de humedad y producen altos coeficientes de fricción (Torres, 2009).

Para producir alimentos expandidos se usan presiones y temperaturas elevadas. La variación de presión a la salida del producto provoca una expansión instantánea del vapor y el gas en el interior del material, dando lugar a un producto de baja densidad. (Fellows P. , 2000).

La extrusión en caliente es un proceso térmico que minimiza la pérdida de nutrientes y reduce la contaminación microbiana. En algunos productos, como aperitivos o cereales para el desayuno se lleva a cabo una etapa de secado después de la extrusión para reducir el contenido de agua (Fellows P. , 2000).

### **2.3.5 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA EXTRUSIÓN**

Los parámetros de extrusión que influyen sobre los productos extrudidos son: las condiciones de operación del extrusor (temperatura, presión, diámetro de los orificios de la boquilla y la velocidad de tornillo) y las propiedades físicas químicas de las materias primas e insumos (humedad, proteína, grasa y almidón). El funcionamiento del extrusor debe ser en condiciones adecuadas, esto permite la obtención de un producto uniforme con las características deseadas. Ya que pequeñas variaciones de las variables pueden generar grandes cambios en el producto terminado (Noriega, 2011).

La temperatura de extrusión en caliente varía de 99°C a 200°C, según el tipo de extrusor. Por lo tanto los extrusores de menor capacidad de alimentación, tiene una relación directa con la temperatura del producto. Por otra parte los extrusores de grandes capacidades pueden ser inversos, pues al calentar la pared, disminuye la

viscosidad de la masa, el esfuerzo cortante y la capacidad de bombeo del tornillo, por lo tanto que la conducción de calor al interior de la masa es muy pequeña por la presencia de flujos laminares (Huber, 2010).

La velocidad del tornillo es un factor principal en el proceso de extrusión, 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 cizalladura en el producto. El incremento en la velocidad del tornillo causa también un incremento en la relación de expansión para extruidos (Martinez, 2012).

En el proceso de extrusión las presiones altas generan pérdida de agua por vaporización, obteniendo un producto con baja actividad de agua, por lo tanto, más duradero. Por consecuencia, si se trabaja con baja presión, el producto que sale del troquel será de alto contenido en humedad y alta densidad, sin embargo precisará otros tratamientos como el secado (Huber, 2010).

La extrusión a menor diámetro de orificio de los dados, incrementa el grado de expansión del producto; la humedad de la mezcla es importante para la crujencia o textura, por lo tanto el incremento del contenido de proteína en la mezcla reduce las posibilidades de una extrusión con expansión (Cadena, 2010).

### **2.3.6 VARIABLES QUE CONTROLAN LA TEXTURA DE LOS PRODUCTOS EXPANDIDOS.**

Las variables que afectan directamente la textura de los alimentos son principalmente el tiempo y la humedad debido a su gran influencia en el proceso.

**Tiempo:** bajo las condiciones intensas de cocción que se utilizan para los productos inflados, la regla imprescindible es un tiempo corto de residencia. En extrusores de tambor corto, el tiempo total es tan solo unos cuantos segundos. Aun con máquinas más largas, el tiempo durante el cual se expone el producto a un alto cizallamiento es limitado. La mayor parte de residencia es destinado a mezclar y absorber la humedad.

La temperatura debe ser alta para provocar una expansión explosiva. Para alcanzar estas altas temperaturas, se utiliza la fuerza cizallante. Una alta velocidad del sinfín y canales de sinfín o elementos de mezclado poco profundos, así con sinfines de inversión son útiles para generar calor con el cizallamiento. El calentamiento del tambor sirve para controlar la expansión. Al contar con calor suministrado por conducción, entonces la temperatura se convierte en una variable independiente. La temperatura del troquel también es importante para el desarrollo de la textura.

El calentamiento viscoso dentro del troquel por lo general no representa un problema, ya que los troqueles operan a temperaturas un poco más frías que el producto resulta positivo que el troquel este un poco más frío para poder lograr una superficie mas uniforme y cerrada.

**Humedad:** el agua afecta todo, por lo que debe estar perfectamente controlada (incluso su velocidad de entrada, pues también afecta el contenido de humedad, así también como el consumo de energía del extrusor y otras variables). El pre acondicionamiento representa una ventaja.

### **2.3.7 OPERACIONES UNITARIAS DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN**

Dentro del proceso de extrusión intervienen algunas de las operaciones unitarias, las que intervienen principalmente son: cocción, formado, texturización, deshidratación, mezclado y la transferencia de masa.

**1 Cocción:** la cocción por extrusión de productos alimenticios requiere la aplicación de calor por tiempo suficiente para completar las reacciones deseadas, usualmente la gelatinización de los almidones. El calor puede ser agregado por conversión, conducción o convección. En efecto varios procesos de cocción pueden ser caracterizados por cantidades relativas de cada una de estas tres fuentes utilizadas. La humedad generalmente varía a través de la gama de condiciones. Una alta viscosidad es necesaria para un uso efectivo de la energía mecánica, a viscosidades menores, la conducción y convección son aún mas efectivas.

La humedad es un factor importante también, en otros aspectos posee un aspecto de enfriamiento, es un reactor en gelatinización y la fuerza motriz detrás de la expansión. Los otros dos factores más importantes en la cocción, junto con lo que es humedad y corte, son el tiempo y temperatura. A temperaturas elevadas es menor el tiempo necesario. El proceso de cocción puede ser caracterizado por su aplicación de temperatura, tiempo y humedad. El corte, generalmente, aumenta a medida que se acerca la temperatura más alta.

Cuando deseamos cocinar por un periodo bastante corto a una temperatura elevada, el corte es la manera más rápida de generar temperatura. Los productos resultantes reflejan el tipo de cocción al que han sido sometidas. Para corto tiempo, corte alto y temperatura alta de procesamiento, un tornillo corto, con alta velocidad y aletas de poca altura van a crear el ambiente correcto. A la inversa, para cocción más suave y larga, un torillo de velocidad más baja, aletas más profundas y más largo es necesario (Torres, 2009).

**2 Formado:** además, de proveer resistencia en el proceso de extrusión, el dado es frecuentemente responsable de desarrollar la forma del producto. Mientras este emerge del dado una serie de deformaciones se llevan a cabo mientras el producto fluido reacciona a su nuevo ambiente: cese de esfuerzo de corte, reducción de la presión y enfriamiento. Dar forma a través del diseño del dado, consiste en el manejo de estas deformaciones (Torres, 2009).

**3 Texturización:** ampliamente discutida, la texturización a través de aplicación de corte en el extrusor y dado y con la expansión del producto a la salida de este (Torres, 2009).

**4 Deshidratación:** los productos que salen de la alta presión en el extrusor están frecuentemente a temperaturas por encima del punto de ebullición y pueden perder una cantidad substancial de humedad por evaporación. Aunque esto no es usualmente el propósito principal del proceso de extrusión, es frecuentemente útil en el producto, reduciendo la necesidad de secado mediante medios menos eficientes. Hasta 8 % de humedad puede ser removido del producto por evaporación conforme sale del extrusor (Torres, 2009).

**5 Mezclado:** cuando están adecuadamente configurados con elementos para mezclar a lo largo del tornillo, los extrusores son buenos para combinar

ingredientes en sistemas viscosos. Esto es usualmente bien utilizado en la parte posterior del extrusor donde las corrientes de líquidos y sólidos se unen. En extrusores de un solo tornillo, un buen mezclado requiere tornillos bien llenos, para desarrollar corte (Torres, 2009).

**6 Transferencia de masa:** el vapor u otro gas sometidos a una súbita caída de presión puede ser una forma efectiva de remover constituyentes volátiles como lo son sabores no deseados. Los orificios de ventilación y dados sirven para este propósito. Operaciones secuenciales: el arreglo lineal del tornillo del extrusor, se presta a una serie de operaciones unitarias en una sola unidad (Torres, 2009).

### **2.3.8 PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS QUE INFLUYEN EN LA EXTRUSIÓN**

Gran parte de los compuestos volátiles se pierden en la atmosfera. Sin embargo a la salida de la boquilla, la masa a elevada presión se expande lo que supone una salida de gases y vapor de agua que puede arrastrar compuestos aromáticos que se hayan concentrado en las vacuolas de gas por efecto de la presión y temperatura; es posible controlar el desarrollo del aroma y color de los productos extruidos mediante un control estricto de las condiciones de proceso (Narvaez, 2010).

Las propiedades organolépticas del alimento vienen 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 mayor vida útil. Por consecuente, trabajando en frío se obtendrán productos con más actividad de agua pero con una menor pérdida de cualidades (Tupaca, 2012).

## **2.4 PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LAS MATERIAS PRIMAS QUE AFECTAN EL PROCESO DE EXTRUSIÓN**

Las propiedades físico - químicas de las materias primas que alimentan al extrusor tienen influencia en las características organolépticas del producto final. Las más importantes son:

#### **2.4.1 EL ALMIDÓN**

El almidón es el componente más importante en el proceso de extrusión, ya que los cambios que sufre afectan a la expansión y textura del producto extruido, esto se debe a que el almidón es una macromolécula compuesta de dos polisacáridos, la amilosa, un polímero lineal soluble que ofrece una textura quebradiza y la amilopectina molécula de almidón que contiene ramificaciones y promueve el inflado en el producto extruido (Gomez, 2013).

El almidón, a niveles de 60% maximiza la expansión, textura y mejora la digestibilidad de la proteína del producto extruido, y a niveles menores del 60 % afectan la característica física química y organoléptica del producto. Por otra parte para obtener un producto inflado y quebradizo, es conveniente tener de 5 a 20 % de amilosa. Sin embargo también se agrega almidones modificados, a fin de dar mayor resistencia y dureza a la superficie del producto.

“En efecto, la extrusión es un proceso, que puede provocar modificaciones en la estructura del almidón, en consecuencia, se puede mejorar el valor nutritivo de los productos extruidos” (Pérez C. , Betancurth, Casotto, & Tovar, 2012).

#### **2.4.2 INFLUENCIA DEL CONTENIDO DE AMILOSA Y AMILOPECTINA EN EL PROCESO DE EXTRUSIÓN.**

**Composición de almidón:** El almidón se presenta como amilosa (un polímero lineal más soluble) y amilopectina (ramificada). La amilopectina promueve el inflado y la amilosa ofrece una textura quebradiza. El almidón es insoluble en agua fría. Cuando se calienta con agua. La absorbe, se hincha y revienta; este fenómeno se le llama gelatinización. Para tener un producto inflado y quebradizo, es

conveniente tener de 5 a 20% de amilosa. Se pueden también agregar almidones modificados, a fin de dar mayor resistencia y dureza a la superficie del producto. Las cantidades relativas de amilosa y amilopectina también influyen sobre la dirección de la expansión.

La amilosa ocasiona una mayor expansión lineal, en tanto que el contenido de amilopectina lo hace más en forma radial. El nivel óptimo de humedad para la cocción (gelatinización) del almidón es aproximadamente 27% y lleva la obtención de un producto seco con máxima absorción de agua. Aunque algunos cereales pueden extruir a niveles de humedad de tan solo 8 a 10%, el almidón resultante se dextriniza (se reduce a cadenas más cortas de polímeros glucosa) mediante la fricción mecánica, en vez de la gelatinización. La dextrinización se caracteriza por un aumento en la solubilidad al agua fría y por obtención de un producto pegajoso cuando se humidifica.

La dextrinización es recomendable cuando se elaboran productos alimenticios 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. (Torres, 2009).

La gelatinización del almidón es el colapso o ruptura del orden molecular del granulo de almidón manifestando cambio “irreversible” en las propiedades como hinchamiento granular, fusión de las regiones cristalinas, pérdida de birrefringencia y solubilización del almidón en agua. El punto inicial de gelatinización y el rango de temperatura en la cual ocurre es gobernado por la concentración del almidón en la suspensión, método de observación, tipo granular y la heterogeneidad de la población de gránulos bajo observación (Fernandez, 2010).

### **Puntos críticos que marcan la gelatinización**

- Rompimiento del orden molecular.
- Es dependiente de la humedad y temperatura.
- Se incrementa el tamaño granular, sufre un hinchamiento con el incremento de temperatura.

- Difiere con respecto a la velocidad de calentamiento, el pH y porción de sólidos. Difiere con respecto a la fuente botánica del granulo y la porción de amilosa y amilopectina.

### **2.4.3 PROTEÍNAS**

Las proteínas así como el gluten, crean elasticidad limitando así la expansión. El efecto de la proteína depende de su tratamiento térmico anterior. Cuando pasa por una desnaturalización previa, es inerte, contribuyendo muy poco a la estructura (excepto como un particulado que afecte la porosidad o la formación de núcleos). Cuando reciben menor tratamiento térmico la proteína se desnaturaliza durante la extrusión reposando la estructura extruida (generalmente fibrosa) (Torres, 2009).

La extrusión de productos con elevado contenido proteico se realiza generalmente para controlar los inhibidores del crecimiento, que están contenidos en las materias primas. Por otra parte estos procesos consiguen por un lado el mínimo contenido en factores antitróficos y por otro la máxima lisina disponible en el producto. La lisina es un aminoácido muy reactivo y el proceso que sea menos agresivo será el mejor desde el punto de vista nutritivo, las proteínas crean elasticidad limitando así la expansión del producto extruido. Por lo tanto se debe controlar la temperatura del tratamiento térmico para disminuir el porcentaje de pérdida de nutrientes y la desnaturalización de la proteína durante la extrusión (García, 2012).

La extrusión mejora la digestibilidad de la proteína por desnaturalización, lo que expone sitios accesibles a enzimas. Después de la desnaturalización, la mayoría de las proteínas, incluidas las enzimas, inhibidores de enzimas y alérgenos pierden actividad. A diferencia de los almidones y los lípidos, la proteína es el único macronutriente donde aumenta la digestibilidad es siempre preferida, ya que la proteína es esencial para el crecimiento y desarrollo de tejidos magros. La digestibilidad alta en proteínas es especialmente importante para el destete, alimentos y otros alimentos que consumen los niños. La extrusión produce la separación de las cadenas proteicas vegetales (Medeni, 2011).

- **Desnaturalización de las proteínas**

La alteración de una proteína que modifique su conformación nativa se denomina desnaturalización; este cambio provoca la alteración o desaparición de sus funciones. En una proteína se produce la desnaturalización al perder su estructura secundaria, terciaria y cuaternaria, conservándose la primaria (covalente). En el estado desnaturalizado los niveles de estructuración superior de la conformación nativa se encuentran al azar, es decir la proteína altamente ordenada queda reducida a un polímero estadístico formado por una cadena de aminoácidos. La existencia de enlaces disulfuros en una proteína aumenta su resistencia a la desnaturalización (Huber, 2010).

#### **2.4.4 GRASAS**

Los lípidos son una forma concentrada de energía que proporciona 9 kcal / g. El sobreconsumo de lípidos de la dieta se asocia con problemas de salud graves, como enfermedades del corazón, cáncer y obesidad. Es un desafío extraer alimentos que contienen más del 10% lípidos porque los altos niveles de lípidos reducen la cizalladura dentro del cilindro del extrusor. La producción de productos expandidos altos en grasa es muy difícil, además de que la oxidación lipídica reduce la calidad nutricional y sensorial en los alimentos. Sin embargo, algo de aperitivo, los alimentos se pueden freír después de la extrusión para eliminar la humedad y aumentar el crujiente y sabor (Medeni, 2011).

Cuando la grasa está libre (sin que funcione como complejo con otros ingredientes), actúa como un lubricante, reduciendo así la conversión mecánica de energía en el extrusor, así como su expansión. Sin embargo 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 (Fernandez, 2010).

Los aceites que contienen los cereales y las leguminosas, al ser extruido sufren un proceso de emulsión debido a la fuerte presión a que son sometidas las finas gotas de grasa al ser recubiertas por los almidones y proteínas, quedando la grasa encapsulada. Para realizar la determinación correcta es necesario emplear el método de hidrólisis ácida y extracción posterior, ya que con el método de Extracto Etéreo no se consiguen los resultados que corresponden en realidad al producto (Fernandez, 2010).

La grasa al ser emulsionada es más digerible por los jugos digestivos de los animales, aumentando la energía del producto. Generalmente las lipasas y peroxidasas son inactivadas durante el proceso de extrusión en condiciones normales, mejorando la estabilidad posterior del producto.

#### **2.4.5 FIBRA**

Existen pocos datos publicados del efecto de la extrusión sobre la fibra, aunque se haya estudiado. Así por ejemplo para el caso de los cereales se puede decir que la fibra del producto se solubiliza, incrementando la disponibilidad para su fermentación. Así por ejemplo cuando se extrusiona salvado el contenido en fibra soluble se incrementa significativamente. Varias observaciones indican que las paredes de las celulosas del producto extrusionado se adelgazaron y la superficie era más rugosa que la inicialmente de partida. Para conseguir efectos significativos sobre la fibra hay que procesar los productos bajo condiciones muy severas, cosa que no ocurre en condiciones de trabajo normales (Aguirre Tafur & Calderón Mera, 2015).

#### **2.4.6 CONTENIDO DE HUMEDAD**

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 temperaturas elevadas causan la gelatinización del almidón y aumenta la viscosidad del producto. Además se alcanza índices de

absorción y de solubilidad de agua, a los niveles más bajos de humedad, hecho que se atribuye a la modificación del almidón (Guy, 2002).

La cocción por extrusión es una forma especializada y única en el procesado de materiales amiláceos debido a que se trata de una cocción a humedad relativamente baja, comparado con el horneado convencional o la cocción de masas y pastas. Los niveles normales de humedad utilizados están en el intervalo de 10-40%, a pesar de estos valores bajos de humedad el material se transforma en un fluido (Tupaca, 2012).

Adicionalmente Salas (2012) menciona que el contenido de humedad mayor al 40% en la mezcla afecta la expansión, la resistencia a la rotura del producto y la textura. Una menor humedad del producto después de la extrusión da como resultado una mejor crujencia, además, a menor humedad menor tiempo de secado.

#### **2.4.7 TAMAÑO DE LA PARTÍCULA**

El tamaño de la partícula depende del tipo de extrusor y del producto que se desea obtener. El tamaño de las partículas para 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), no es 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 (Tupaca, 2012).

El extrusor utilizado 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 fusión y una baja viscosidad del fluido, propiedades que no son

convenientes. Esto se corrige reduciendo la humedad para demorar la gelatinización.

Salas (2012), afirma que la presencia de cascara da como resultado una masa no homogénea que se pega a los orificios hasta que la presión en la cámara de extrusión se asemeja a un flujo taponado. Afecta también a la cocción, pues resulta insuficiente la penetración de calor en las partículas grandes durante el corto tiempo de permanencia en el extrusor.

#### **2.4.8 FORMULACIÓN DE LA MEZCLA**

El sabor, color, funcionalidad, valor nutricional, entre otros depende de la formulación específica empleada en el proceso de extrusión. Sin embargo los almidones de distinta procedencia pueden dar resultados muy diferentes.

En nuestra investigación, el material que se usa más comúnmente es la masa. La masa es una combinación de varios elementos como almidones, proteínas, azúcares y fibras. El punto de definición del estudio de la masa dentro del sistema de extrusión es el aislamiento de los siguientes parámetros para estudiar los efectos de cada componente dentro de las propiedades de flujo de la masa dada. De estos parámetros, algunos son variables dependientes y algunos son variables independientes, que influyen de alguna manera en el proceso (Medeni, 2011).

### **2.5 EXTRUSORES**

Los extrusores pueden clasificarse en tres categorías principales: extrusores de pistón, extrusores de rodillos y extrusores de tornillo. Los extrusores de pistón, que son los más sencillos en diseño se emplean principalmente para dar forma. Ellos consisten de un solo pistón o una serie de pistones lo cuales depositan cantidades muy precisas de material en un transportador de banda ancha. Estas máquinas se usan comúnmente en la producción de dulces, por ejemplo para depositar el relleno central de los chocolates.

Los extrusores de rodillos que también se emplean para dar forma, consisten en dos rodillos que giran en sentidos opuestos a velocidad similar o diferencial y tienen superficies lisas o perfiladas. La abertura entre los rodillos puede ser cerrada para comprimir el material que pasa a través de ellos, o el extrusor puede estar diseñado para no impartir ningún tipo de presión.

Los extrusores de rodillos vienen en varias configuraciones y son capaces de formar tiras de una sola capa, con varias capas (multicapas) o rellenas, así como placas sencillas o de dos capas. Los extrusores de tornillos pertenecen a la tercera categoría y emplean tornillo sencillo, tornillos gemelos o múltiples rotando dentro de un cañón estacionario para empujar el material hacia adelante y a través de un orificio especialmente diseñado llamado dado o boquilla. Una multitud de parámetros como son: la configuración de los tornillos, la velocidad del tornillo y la temperatura de las varias zonas del cañón, son seleccionados cuidadosamente para que su influencia en la extrusión sea deseable (Torres, 2009).

Hay muchos tipos y variedades de extrusores de alimentos, pero todos tienen en común ciertos elementos. Todos los extrusores tienen tornillo (s) colocados firmemente y ajustados en un cilindro adecuado el cual gira por medio de un motor eléctrico grande. Los ingredientes relativamente secos, con una humedad entre 15 a 25 %, son alimentados al extrusor y la fricción entre el producto y el (los) tornillo(s) transportadores, incrementan rápidamente la temperatura del producto a 140-170 °C durante el rápido tránsito, de 15 a 90 s, a través del cilindro. El cilindro para la descarga final del extrusor está equipado con un (unos) dado (s) restrictivos que causan presión para formar el producto dentro del anillo del extrusor.

La alta presión dentro del extrusor previene la ebullición del agua durante las altas temperaturas de cocción. Cuando el material cocido extraído, es forzado a través del dado, esta presión es liberada con su correspondiente pérdida de humedad, un descenso en la temperatura y la expansión del producto formado ya cocido. Se ha trabajado extensivamente con maquinaria de extrusión relativamente simple, la cual tiene como única fuente de calor la energía mecánica derivada de un motor eléctrico grande, el cual hace girar al tornillo de extrusión.

Esta maquinaria trabaja bajo condiciones poco húmedas (menos del 20 %) y a niveles considerados altos en grasa (mayores al 5 %) y se pueden obtener productos alimenticios precocidos a partir de mezclas de cereales y leguminosas.

**El extrusor básico de tornillo**, consiste en un tornillo o tornillos rotando en un barril donde encajan casi exactos, siendo movilizados por un motor a través de una transmisión para reducir o variar la velocidad. El producto emerge por un dado (resistencia) con uno o más orificios del tamaño adecuado para cada aplicación en particular. Al otro extremo del barril, hay una chumacera principal que da soporte al tornillo y un orificio en el barril (cuello de alimentación) a través del cual el producto se alimenta al tornillo.

El ensamble total se mantiene en una alineación rígida por medio de una base firme. El tornillo y el barril pueden estar segmentados o ser unitarios. Típicamente, el tornillo está montado en un eje, donde se encuentra engranado por llaves. El barril puede tener una cubierta reemplazable, endurecida, y puede ser liso o con ranuras (para afectar el flujo y generación de calor). Los segmentos del barril están unidos entre sí con abrazaderas o con pernos para asegurarlas. Frecuentemente, hay canales barrenados a través del barril para flujo de fluidos que transfieren calor, o se pueden utilizar calentadores externos separados.

La rotación de tornillo y la generación de presión lo forzan hacia atrás, eliminando la necesidad de asegurar los elementos del tornillo. Esta fuerza, sin embargo, debe ser opuesta por una chumacera pesada. La chumacera está separada del producto, que es frecuentemente abrasivo, por un sello aparte. Al otro extremo del extrusor, se encuentra un dado ensamblado que normalmente está sujeto al barril. En muchos casos, se introducen partes que se pueden reemplazar para crear los orificios en los dados.

Estos son montados por detrás en la plancha del dado, donde son sostenidos en su lugar por la presión de la extrusión, lo cual crea suficiente fuerza para prevenir goteo. En muchos casos, el producto se parte en pedazos en el dado por un cortador, el cual pasa por las cuchillas a través de la cara del dado. Para un buen corte, las cuchillas deben estar sostenidas rígidamente cerca de los dados. (Torres, 2009).

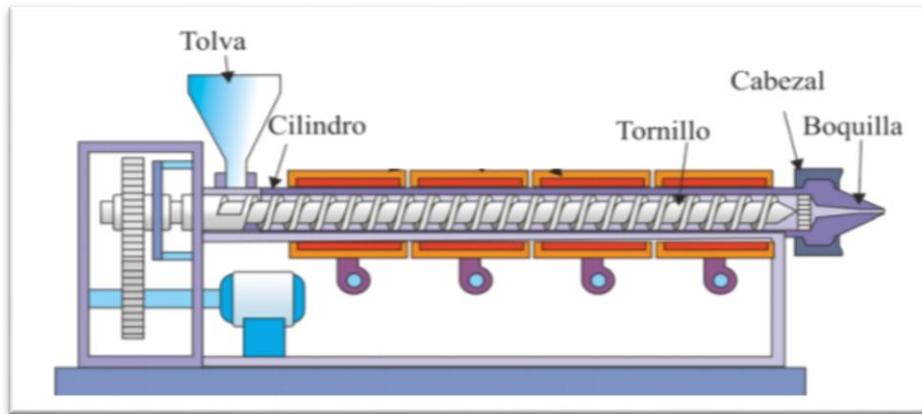
**Los extrusores de doble tornillo**, tienen dos tornillos que se unen fuertemente como engranajes y rotan uno contra el otro. Por lo tanto, cada tornillo está dividido en una serie de cámaras separadas las cuales se mueven hacia el dado mientras que el tornillo rota, llevando el producto en ellas en un “desplazamiento positivo”. La razón de flujo resultante es igual al desplazamiento volumétrico de los canales del tornillo (menos el flujo de fugas) y es casi independiente de la presión de los tornillos de rotación opuesta que pueden generar rápidamente presiones enormes estos operan de forma diferente.

El canal del tornillo no está dividido, es continuo a lo largo del tamaño del tornillo. En lugar de ser empujado por las aletas de este, el producto es arrastrado por el canal del tornillo por el movimiento relativo de este y la superficie del barril, la presión y flujo son generados por el corte. El resultante “flujo de arrastre” es de más o menos la mitad de la capacidad volumétrica del tornillo, la mitad del producto es dejado atrás.

Las aletas del tornillo redirigen la mayoría del flujo tangencial de arrastre a una dirección hacia abajo. La porción restante del flujo de arrastre se mueve a lo largo de la dirección del canal, originando una circulación del producto en el canal, importante para la transferencia de calor y mezcla. (Torres, 2009).

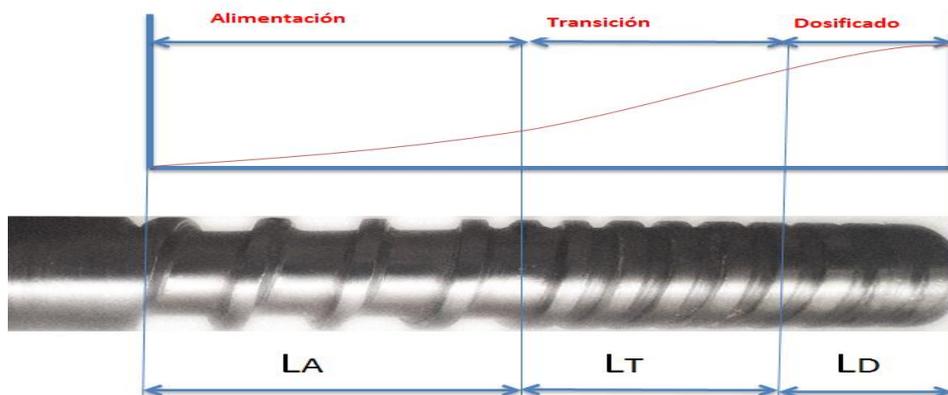
### **2.5.1 DESCRIPCION DEL EQUIPO DE EXTRUSIÓN**

De acuerdo con las funciones que debe cumplir, una extrusora debe disponer de un sistema de alimentación de material, un sistema de fusión plastificación del mismo, el sistema de bombeo y presurización, que habitualmente genera también un efecto de mezclado y finalmente, el dispositivo para dar lugar al conformado del material fundido. La figura 4 muestra, como ejemplo, una representación esquemática de una extrusora típica de husillo sencillo.



**Figura 4.** Representación esquemática de un extrusor de husillo sencillo

Todas las extrusoras se consideran divididas en tres zonas que se pueden apreciar en la figura 5, junto con la evolución de la presión a lo largo de la extrusora.



**Figura 5.** Zonas de una extrusora y evolución de la presión a lo largo de la misma

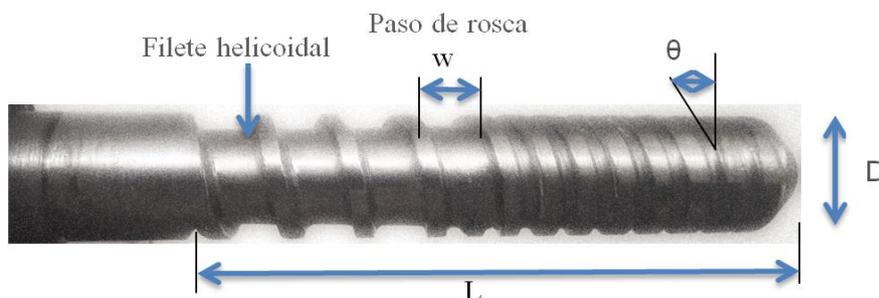
La zona de alimentación ( $L_A$ ), es la más cercana a la tolva, en la cual la profundidad del canal del tornillo es máxima. Tiene como objetivo principal compactar el alimento en forma sólida densa y transportarlo hacia la siguiente zona a una velocidad adecuada. La zona de transición o compresión ( $L_T$ ), es la zona intermedia en la cual la profundidad del canal disminuye de manera más o menos gradual. Conforme el material sólido va compactándose en esta zona el aire que pudiera quedar atrapado escapa del material vía a la tolva de alimentación. En la zona de transición, además, tiene lugar la fusión del material.

La zona de dosificación se sitúa al final ( $L_D$ ), en la parte más cercana a la boquilla y tiene una profundidad de canal muy pequeña y constante. En esta zona el material fundido es homogenizado y presurizado para forzarlo a atravesar a presión la boquilla de conformado.

## 2.5.2 COMPONENTES PRINCIPALES DE LA EXTRUSORA

- **TORNILLO DE EXTRUSIÓN**

El tornillo o husillo consiste en un cilindro largo rodeado por un filete helicoidal (figura 6). El tornillo es una de las partes más importantes ya que contribuye a realizar las funciones de transporte, calentar, fundir y mezclar el material. La estabilidad del proceso y la calidad del producto que se obtienen dependen en gran medida al diseño del tornillo. Los parámetros más importantes en el diseño del tornillo son su longitud ( $L$ ), diámetro ( $D$ ), el ángulo de filete ( $\theta$ ) y el paso de rosca ( $w$ ). Las medidas tomadas del tornillo de extrusión utilizado en la presente investigación se detallan en la tabla 9.



**Figura 6.** Tornillo de extrusión utilizado en la investigación.

**Tabla 9.** Parametros del diseño de tornillo de estrusión

PARÁMETROS	MEDIDA
Filete helicoidal	0,7 cm
Paso de rosca	1,2 cm

Ángulo de filete	25° grados
Diámetro total	4,5 cm
Longitud	15,5 cm

---

- **CILINDRO**

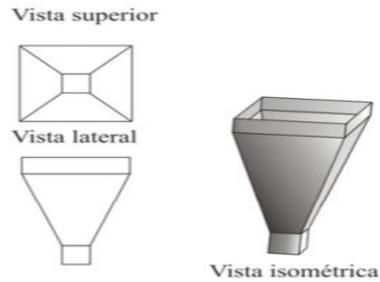
El cilindro de calefacción alberga en su interior al tornillo como se muestra en la figura 7. La superficie del cilindro debe ser muy rugosa para aumentar las fuerzas de cizalla que soportará el material y permitir así que éste fluya a lo largo de la extrusora. Para evitar la corrosión y el desgaste mecánico, el cilindro suele construirse de aceros muy resistentes y en algunos casos viene equipado con un revestimiento bimetálico que le confiere una elevada resistencia, en la mayoría de los casos superior a la de tornillo ya que este es mucho más fácil de remplazar.



**Figura 7.** Cilindro de calefacción-tornillo

- **TOLVA**

La tolva es el contenedor que se utiliza para introducir el material en la máquina. Tolva, garganta de alimentación y boquilla de entrada deben estar ensambladas perfectamente y diseñadas de manera que proporcionen un flujo constante de material. Esto se consigue más fácilmente con tolvas de sección circular, aunque son más caras y difícil de construir que las de sección rectangular.



**Figura 8.** Tolva de alimentación rectangular

- **DADOS**

El dado de extrusión (figura 9), sirve principalmente como una resistencia al flujo. Tiene una profunda influencia en la conducta del flujo del producto en el tornillo, y también contribuye directamente a la texturización del producto por el corte desarrollado en el dado. Es también responsable por desarrollar diferentes formas en el producto en la mayoría de los casos. Como en el canal del tornillo, el producto pasa a través del dado con flujo laminar donde, en la mayoría de casos, se adhiere a las superficies del dado. Por lo tanto, existe un gradiente de velocidad en el dado, donde la velocidad es máxima en el centro del flujo, y cae a cero (usualmente) en la superficie.

La resistencia al flujo es una función de la viscosidad (resistiendo el corte) y de la razón de corte, determinado por el gradiente de velocidad. Esto, a su vez, es una función de velocidad y geometría, dados más pequeños crean mayor corte y más resistencia. La razón del flujo a través del dado es proporcional a la caída de presión, inversamente proporcional a la viscosidad y proporcional a una constante geométrica  $K$ , que es la “conductancia” del dado (recíproco de resistencia). En general, la resistencia de un dado es proporcional al largo de la sección transversal más pequeña e inversamente proporcional a las dimensiones transversas elevadas a la cuarta potencia (Torres, 2009).



**Figura 9.** Boquillas de salida de 3 y 5mm

## **2.6 SECADO**

Para complementar la investigación nuestro producto fue sometido a una etapa de secado para así llegar a la humedad adecuada que se encuentre dentro de los parámetros para productos extruidos.

El secado es un método de conservación que, al eliminar la totalidad del agua libre de un alimento, impide el crecimiento de toda actividad microbiana y reduce la actividad enzimática.

Salas (2012) y Sharapin (2000) coinciden en que el principio básico en el cual se fundamenta el secado son los niveles bajos de humedad, donde se interrumpe los procesos de degradación causados por enzimas o fermentos, además, impide el desarrollo de microorganismos, las reacciones de oxidación y de hidrólisis. Sin embargo, como este proceso involucra calor, pueden presentarse pérdidas de aceites esenciales y de sustancias volátiles, así como el riesgo de degradación de algunas sustancias termolábiles.

El deshidratador de cabina o bandejas (figura 10), está formado por una cámara metálica rectangular (armario), en cuyo interior se disponen separaciones fijas donde se colocan cierto número de bandejas poco profundas, montadas unas sobre otras con una separación conveniente, en las cuales se coloca el producto a secar.

El ventilador colocado en la parte inferior hace circular el aire por los calentadores y después entre las bandejas, con la ayuda de unos deflectores.

Renquena (2008) señala que la velocidad de aire entre las bandejas varía con el tipo de producto, oscilando normalmente entre 1 y 10 m/s. Cuando las características del material y su manejo lo permiten, se utilizan bandejas perforadas, en donde el aire circula a través de la capa de los sólidos, por lo tanto, se consigue incrementar la superficie del producto expuesta a la acción del aire y disminuir así el tiempo de secado.



**Figura 10.** Secador de bandejas utilizado en el experimento.

## CAPITULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS.

#### 3.1 CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La investigación relacionada en el efecto de la mezcla griz de maíz – frejol y diámetro de boquilla en el producto extruido, se realizó en los Laboratorios de la Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales de la Universidad Técnica del Norte (Unidades Edu-productivas de la Carrera de Ingeniería Agroindustrial). Las características ambientales donde se desarrolló el experimento se detallan en las tablas 10 y 11.

**Tabla 10.** Características ambientales de la localización del experimento.

<b>Localización del experimento.</b>	
<b>Provincia:</b>	Imbabura
<b>Cantón:</b>	Ibarra
<b>Parroquia:</b>	El Sagrario
<b>Sitio:</b>	Unidades productivas de la Carrera de Ingeniería Agroindustrial
<b>Altitud:</b>	2250 m.s.n.m.
<b>Latitud:</b>	0° 19' 47'' N
<b>Longitud:</b>	78° 07' 56'' W
<b>Humedad relativa promedio:</b>	62%
<b>Pluviosidad:</b>	503- 1000 mm. año
<b>Temperatura media:</b>	18°C

Fuente: INAMHI, 2017

**Tabla 11.** Condiciones ambientales de la ciudad de Quito.

<b>Condiciones ambientales de la ciudad de Quito</b>			
<b>Provincia</b>	Pichincha		
<b>Cantón:</b>	Mejía		
<b>Sitio:</b>	Estación	Experimental	Santa Catalina
<b>Altitud:</b>	2400-3500 m.s.n.m.		
<b>Temperatura de bulbo seco:</b>	24°C		
<b>Temperatura de bulbo húmedo:</b>	18°C		

<b>HR. promedio:</b>	72%
<b>Pluviosidad:</b>	1400 (mm). Año

Fuente: INAMHI, 2015

## 3.2 MATERIALES.

### 3.2.1 MATERIA PRIMA E INSUMOS

Las materias primas utilizadas en el experimento se detallan en la tabla 12.

**Tabla 12.** Materia Prima e Insumos.

<b>Materia Prima</b>	<b>Insumos y aditivos</b>
Fréjol	Agua destilada
Gritz de maíz	

### 3.3.2 EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

Los equipos y herramientas utilizadas en la presente investigación se detallan en la tabla 13.

**Tabla 13.** Equipos y Herramientas.

<b>Equipos y Herramientas</b>	
<b>Equipos</b>	<b>Herramientas</b>
Extrusor	Vasos de precipitación
Balanza analítica	Bandejas
Juegos de tamices	Micrómetro
<b>3.2.3</b> Secador de bandejas	Fundas de polietileno
Molino	Etiquetas
Sellador de impulso	

## ESPECIFICACIONES DEL EXTRUSOR UTILIZADO

El extrusor para alimentos utilizado en este estudio incluye tolva de alimentación, sensores de temperatura de chaqueta, velocidad variable de tornillo de extrusión, boquillas intercambiables y tablero eléctrico con sistema de encendido y apagado, además de sistemas de protección eléctrica y paro de emergencia. Un bosquejo del equipo se presenta en la figura 11, mientras que la tabla 14 ofrece características específicas sobre sus propiedades.



**Figura 11.** Extrusor utilizado en el experimento.

**Tabla 14.** Características del equipo

<b>CARACTERÍSTICAS DEL EQUIPO</b>	
Dimensiones maquinaria aproximadas (LxAxH)	700x400x600mm
Capacidad de producción	40 – 50 kg/h
Control de temperatura con display	50 – 150 grados C
Dos boquillas de salida	3 y 5mm
Regulación velocidad husillo	120 – 360 RMP
Consumo eléctrico	220VAC / 2,5 Kw / 2~
Sistema de arranque y paro	
Alarmas visuales	
Protecciones eléctricas	
Material de fabricación	Acero inoxidable AISI 304

### **3.3 DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.**

Para el estudio del proceso de extrusión se utilizó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con un arreglo factorial A x B, el cual consta de 3 niveles de repeticiones, obteniendo 6 tratamientos en estudio, con un total de 18 unidades experimentales. Modelo estadístico que permitirá establecer los niveles de extrusión que proporcionen las mejores características.

### 3.3.1 FACTORES EN ESTUDIO

En el presente estudio se analizó los factores: Factor “A” evaluación de tres mezclas entre gritz de maíz y fréjol (tabla 15). Factor “B” diámetros de salida de la boquilla del extrusor (tabla 16). Los cuales permitieron establecer el mejor tratamiento extruido.

**FACTOR A:** Mezcla (gritz de maíz –fréjol)

**Tabla 15.** Factor “A” (mezcla de gritz de maíz- fréjol)

<b>FACTOR</b>	<b>Mezcla de fréjol y maíz</b>
<b>A1</b>	95% maíz - 5% fréjol
<b>A2</b>	90% maíz - 10% fréjol
<b>A3</b>	85% maíz - 15% fréjol

**FACTOR B:** Diámetro de salida de la boquilla

**Tabla 16.** Factor “B” (Diámetro de salida de la boquilla)

<b>FACTOR</b>	<b>Diámetro de orificios en dados</b>
<b>B1</b>	3 mm
<b>B2</b>	5 mm

Los parámetros de temperatura y velocidad de cizalladura son controlados mediante el panel de control digital instalado en el extrusor donde se mantuvieron como constantes la temperatura de 123°C y la velocidad de cizalladura de 126 rpm

### 3.3.2 TRATAMIENTOS.

Se realizó la combinación del factor A (con tres tipos de mezclas) y el factor B (con 2 diámetros de orificios de la boquilla a la salida del extrusor) de los cuales se obtuvieron 6 tratamientos.

Se avalúo 6 tratamientos resultantes de la combinación del Factor “A” evaluación de tres mezclas entre gritz de maíz y fréjol. Factor “B” diámetros de salida de la boquilla del extrusor detallados en la tabla 17.

**Tabla 17.** Simbología de los tratamientos

<b>TRATAMIENTO</b>	<b>NOMENCLATURA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>
T1	A1B1	(95% maíz - 5% fréjol) + 3mm diámetro
T2	A1B2	(95% maíz - 5% fréjol) + 5mm diámetro
T3	A2B1	(90% maíz - 10% fréjol) + 3mm diámetro
T4	A2B2	(90% maíz - 10% fréjol) + 5mm diámetro
T5	A3B1	(85% maíz - 15% fréjol) + 3mm diámetro
T6	A3B2	(85% maíz - 15% fréjol) + 5mm diámetro

### **3.3.3 CARACTERÍSTICAS DEL EXPERIMENTO.**

**Tabla 18.** Características del experimento.

<b>CARACTERÍSTICAS DEL EXPERIMENTO</b>	
Número de repeticiones por tratamiento	3
Número de tratamientos	6
Unidades experimentales	18

### **3.3.4 CARACTERÍSTICAS DE LA UNIDAD EXPERIMENTAL.**

Cada unidad experimental tuvo un peso de 100 g de mezcla gritz de maíz y fréjol.

### 3.3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO.

**Tabla 19.** Análisis de Varianza

<b>Fuente de variación</b>	<b>GL</b>
Total	17
Tratamientos	5
(F A) % Mezcla	2
(F B) Diámetro de orificio	1
Interacción A x B	2
Error experimental	12

### 3.3.6 ANÁLISIS FUNCIONAL

**Tabla 20.** Análisis de Varianza

#### **ANÁLISIS FUNCIONAL**

**Coefficiente de variación.**

**Prueba de Tukey al 5% para tratamientos**

**Pruebas de Friedman para los análisis no paramétricos**

**Prueba de Diferencia Mínima Significativa (DMS) al 5% para factores.**

## 3.4 VARIABLES A EVALUADAS.

### 3.4.1 VARIABLES CUANTITATIVAS

#### 3.4.1.1 Materia prima y producto final

Para dar cumplimiento a los objetivos se determinó las propiedades físico-químicas de las materias primas (humedad, fibra, carbohidratos, grasa y proteína), para ello se utilizó los métodos conforme se expone en la Tabla 21, utilizando la norma INEN 2051:1995 GRANOS Y CEREALES. MAÍZ MOLIDO, SÉMOLA, HARINA, GRITZ REQUISITOS.

**Tabla 21.** Pruebas de evaluación en la materia prima y producto final

<b>ANÁLISIS</b>	<b>MÉTODO</b>	<b>NORMA</b>
Humedad	Desecación en estufa	NTE INEN 518
Proteína	Kjeldahl	NTE INEN 519
Fibra	Fibert test	NTE INEN 522
Grasa	Soxhlet	NTE INEN 0523
Carbohidratos	Cálculo	

#### **3.4.1.2 Determinación de la forma, contenido de amilosa, amilopectina y temperatura de gelatinización del fréjol.**

La forma y tamaño de los gránulos se determinó por el método de Mac Masters , mediante observación microscópica directa, utilizando microscopio óptico. Se reportaron imágenes donde se pudo apreciar las formas más definidas de los gránulos de almidón.

**Tabla 22.** Métodos utilizados para la determinación de amilosa, amilopectina y grado de gelatinización

<b>ANÁLISIS</b>	<b>MÉTODO</b>	<b>NORMA</b>
Amilosa	MO-LSAIA-04	NTE INEN 17-0539
Amilopectina	Cálculo	
Gelatinización	Amilografo Brabender	NTE INEN 1732

#### **3.4.1.3 Producto final**

Para evaluar la mejor mezcla de griz de maíz y fréjol se consideró el diámetro de salida, el cual se realizó mediante el índice de expansión del producto extruido.

- **Índice de expansión seccional**

La relación de expansión se calculó como el diámetro del extruido dividido por el diámetro de la matriz, según la ecuación 1. El diámetro se midió en el centro de

cada pieza de extruido utilizando un micrómetro digital electrónico marca mitituyo con precisión de 0,01. Tres mediciones se realizaron para cada tratamiento.

$$\text{Índice de expansión seccional} = \frac{\text{diámetro promedio de la muestra (cm)}}{\text{diámetro de la boquilla (cm)}} \quad (1)$$

### 3.4.2 VARIABLES CUALITATIVAS

#### 3.4.2.1 Análisis organoléptico al producto final

**Tabla 23.** Pruebas organolépticas de aceptabilidad del producto extruido.

DETERMINACION	METODO
Color	Friedman al 1% y 5%
Olor	Friedman al 1% y 5%
Sabor	Friedman al 1% y 5%
Textura	Friedman al 1% y 5%
Aceptabilidad	Friedman al 1% y 5%

Se realizó la prueba de Friedman al 1% y 5% con la finalidad de seleccionar el mejor tratamiento con 15 panelistas de acuerdo a la ecuación.

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

**Dónde:**

**X<sup>2</sup>** = Chi cuadrado

**t** = Tratamientos

**R** = Rangos

**r** = Número de degustado

### 3.4.2.2 Análisis microbiológicos al producto final

Se efectuaron los siguientes análisis para el producto extruido (Recuento total, E coli, mohos y levaduras) los mismos que se encuentran como requisitos microbiológicos dentro de la normativa INEN 2 561 :2010 Bocaditos de productos vegetales tabla 24.

**Tabla 24.** Análisis microbiológico

<b>DETERMINACIÓN</b>	<b>MÉTODO DE ENSAYO</b>
Recuento total ufc/g	NTE INEN 1 529-5
Moho y levaduras ufc/g	NTE INEN 1 529-10
E coli ufc/g	NTE INEN 1 529-7

### 3.5 MANEJO ESPECÍFICO DEL EXPERIMENTO.

Para la obtención del producto extruido se procedió conforme a las operaciones detalladas en el proceso de elaboración.

### 3.5.1 DIAGRAMA DE FLUJO DE OBTENCIÓN DE GRITZ DE FRÉJOL.

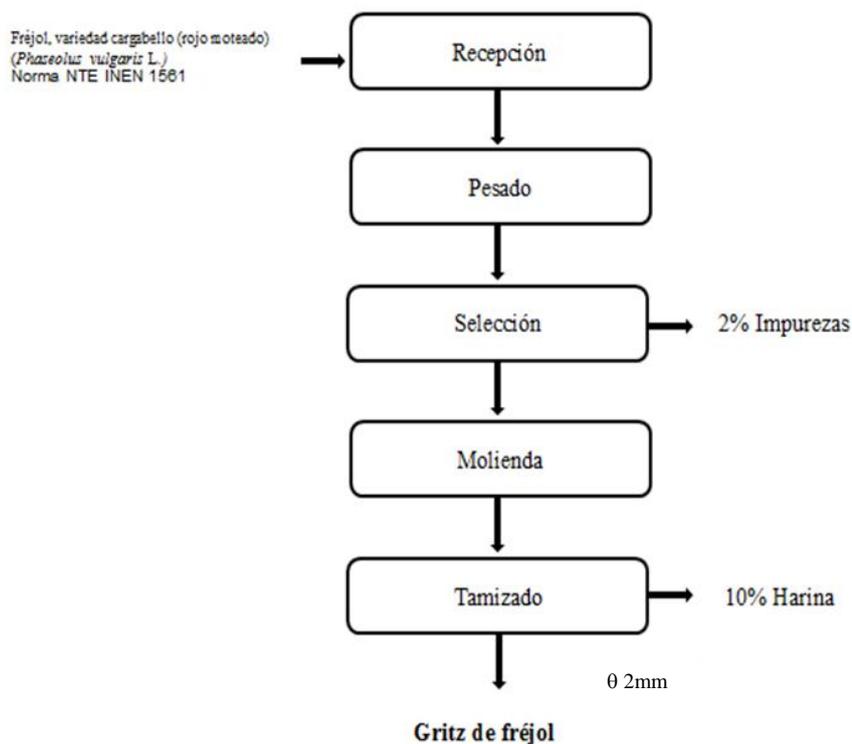


Figura 12. Diagrama de proceso de desarrollo de gritz de fréjol

#### DESCRIPCIÓN DE LAS OPERACIONES DEL PROCESO

- **Recepción**

La recepción del fréjol en grano se controló que se encuentre libre de materias extrañas como: material vegetativo, tierra, o fisiólogos producidos por el calor o la humedad. Además se verificó las características organolépticas como: color, olor y brillo.

- **Pesado**

Se registró la cantidad de materia prima que ingresa, se utilizó una balanza analítica, con estos datos se determinó el rendimiento del producto final.

- **Selección**

El fréjol se seleccionó con la finalidad de verificar la calidad del mismo, separar impurezas y granos en mal estado que van en detrimento de la calidad del producto expandido, para poder obtener gritz de buena calidad.

- **Molienda**

El fréjol se trituroó en el molino de rodillos, en el cual se aplica fuerzas de compresión y cizalla que divide en partículas pequeñas.

- **Tamizado**

Se tamizó el producto molido en un juego de tamices, hasta lograr un tamaño de partícula similar al de gritz de maíz de 2mm de diámetro.

### **3.5.2 DIAGRAMA DE FLUJO PARA OBTENCIÓN DEL PRODUCTO EXTRUIDO**

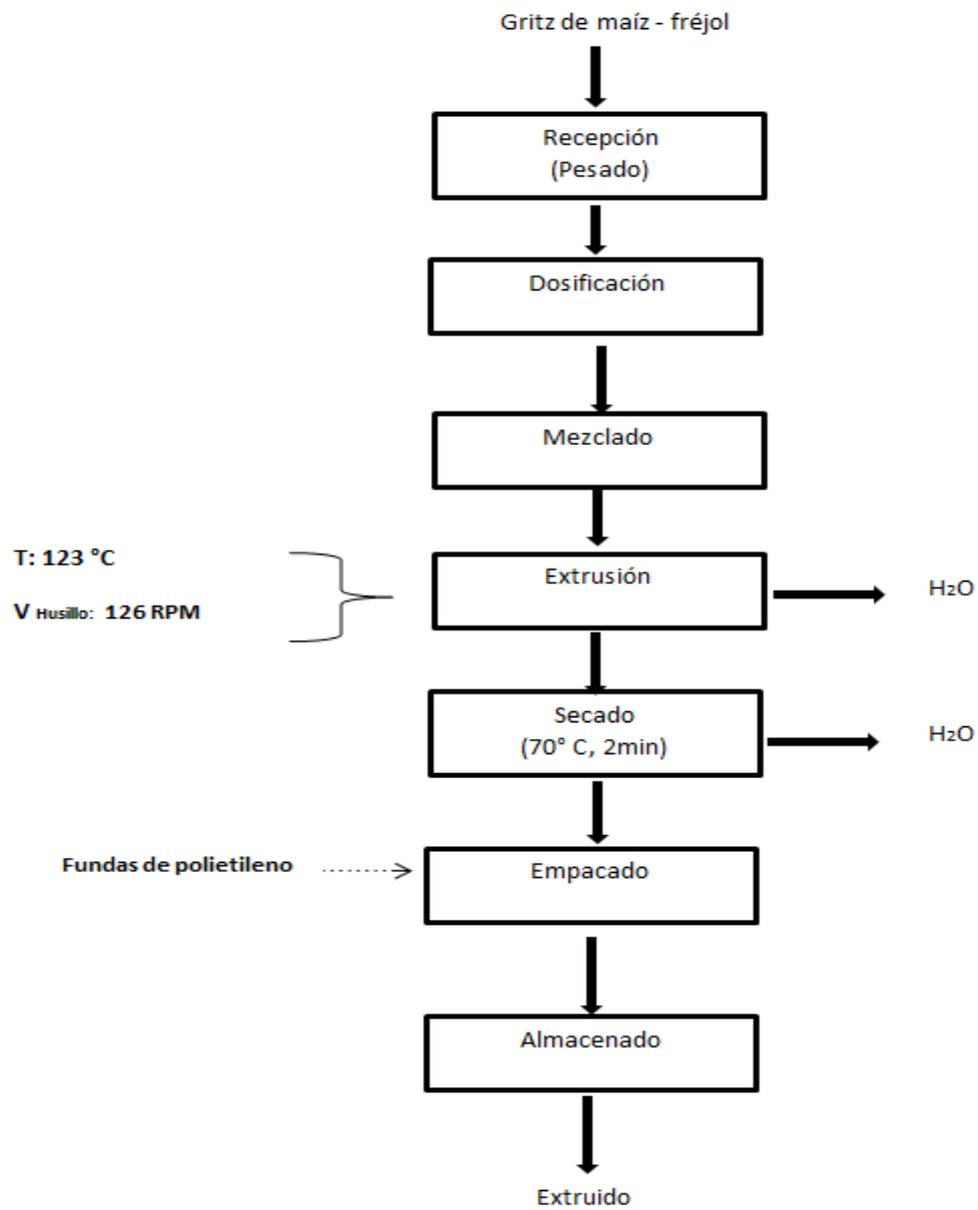


Figura 13. Diagrama de proceso obtención del producto extruido.

## DESCRIPCIÓN DE LAS OPERACIONES DEL PROCESO

- **Recepción**

Se receiptó la materia prima (gritz de maíz - fréjol), controlando parámetros como humedad del 12 %, que lo establece la Norma INEN 2051 (Granos y cereales, maíz molido, sémola, harina, gritz, requisitos), se pesó la cantidad de masa disponible para conocer su peso inicial, con la finalidad de determinar el rendimiento del producto final.

- **Dosificación**

Se dosifico los tratamientos de acuerdo al porcentaje de mezclas establecido en los factores de estudio.

- **Mezclado**

Se precedió a realizar la mezcla de gritz de maíz y fréjol establecidas en el Factor A, la mezcla debe ser homogénea para finalmente obtener un producto extruido de calidad.

- **Extrusión**

La mezcla se extruye, utilizando boquillas de 3 y 5 mm a 123° C y una velocidad de cizalladura de 126 rpm.

- **Secado**

El producto extruido se transfiere a un secador de bandejas que se encuentra a 70°C por 4 min, hasta una humedad menor al 5%, humedad establecida por la norma INEN 2561 para productos extruidos.

- **Empacado**

El producto extruido en fundas de polietileno con un peso de 100g.

- **Almacenamiento**

Una vez empacado el producto extruido, se almacenó en un lugar limpio, fresco y seco a temperatura ambiente (15 a 20°C).

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIONES.

#### 4.1 MATERIAS PRIMAS

##### 4.1.1 PROPIEDADES FÍSICO - QUÍMICAS (HUMEDAD, FIBRA, CARBOHIDRATOS, GRASA Y PROTEÍNA) DE LAS MATERIAS PRIMAS.

En este ítem se presentan las propiedades físico químicas de las materias primas utilizadas en la investigación (Gritz de maíz y fréjol), las mismas se analizaron aplicando los métodos establecidos en la norma INEN 2051 - CEREALES Y LEGUMINOSAS MAÍZ MOLIDO, SÉMOLA, HARINA, GRITZ REQUISITOS. **(Ver anexo 8)**

En la Tabla 25 se detalla los resultados físico - químicos de las materias primas (Gritz de maíz y fréjol), donde se determinó que existe diferencia entre el contenido nutricional de las mismas, destacándose el porcentaje de proteína para el griz de fréjol con el 21.52%, mientras que para el griz de maíz es de 9.35%. El griz de fréjol sobresale en este parámetro, sin embargo existe un aporte importante en contenido de fibra; estos resultados se confirman con la investigación reportada por el MAGAP (1992) en la cual menciona que el fréjol aporta grandes cantidades de proteína y fibra alimenticia.

**Tabla 25.** Resultados de la composición físico – químicas de las materias primas.

PROPIEDAD FÍSICO- QUÍMICA	GRITZ DE MAÍZ	GRITZ DE FRÉJOL
------------------------------	---------------	--------------------

<b>Humedad %</b>	11.60	11.81
<b>Fibra %</b>	2.00	3.14
<b>Grasa %</b>	1.96	0.77
<b>Proteína %</b>	9.35	21.52
<b>Carbohidratos %</b>	78.29	65.88
<b>Cenizas %</b>	0.76	0.79

Elaboración: Autor

Además, los resultados obtenidos de las propiedades físico – químicas en la investigación se encuentran dentro de los parámetros establecidos en la norma INEN 2051 - CEREALES Y LEGUMINOSAS MAÍZ MOLIDO, SÉMOLA, HARINA, GRITZ REQUISITOS, en la cual define el porcentaje de cenizas máximo de 1%, proteína mínimo 8%, grasa máximo 2%, y humedad del 14 %. La humedad, grasa, proteína, fibra y carbohidratos totales, influyen en las características y propiedades finales de la masa que fluye dentro del extrusor (Martinez, 2012).

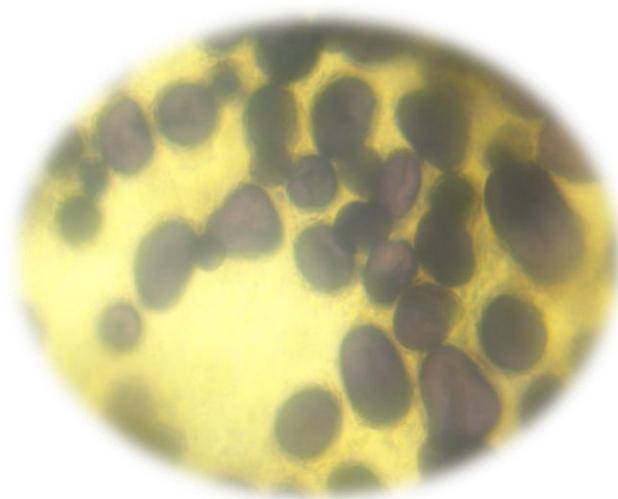
El contenido de humedad mayor al 40% en la mezcla afecta la expansión, la resistencia a la rotura y la textura. Una menor humedad del producto después de la extrusión da como resultado una mejor crujencia; en las materias primas se aprecia que el contenido de humedad es de 11.60% para el griz de maíz y 11.81% para el griz de fréjol, cumpliendo con los niveles necesarios para evitar modificaciones en el grado de expansión del producto extruido (Salas, 2012).

El contenido de fibra con la extrusión se solubiliza, incrementa la disponibilidad para su fermentación, ocasionando que las paredes de la celulosa del producto extrusado se adelgacen y la superficie sea más rugosa (Aguirre Tafur & Calderón Mera, 2015). Además la concentración de grasa reduce la expansión por lo que es importante controlar el contenido de grasa en las materias primas, ya que afecta drásticamente al producto extrusado, por otra parte en la investigación de Cadena (2010), Garcia (2012) y Fernandez (2010), sostienen que el incremento del contenido de proteína y grasa en la mezcla reduce las posibilidades de una extrusión con expansión.

Sin embargo hay que considerar que el almidón es el carbohidrato más importante en el proceso de extrusión, ya que los cambios que sufre afectan a la expansión y textura del producto extruido, a niveles de 60% maximiza la expansión, la textura y mejora la digestibilidad de la proteína del producto extruido, y a niveles menores del 60 % afectan la característica física química y organoléptica del producto. (Gomez, 2013).

Por lo antes mencionado, se puede inferir que el porcentaje de sustitución del fréjol en la mezcla inicial no puede ser mayor a 20% en la investigación desarrollada, ya que su elevado contenido de proteína afectará las propiedades físicas del producto extruido como el índice de expansión (Garcia, 2012).

#### 4.1.2 CARACTERIZACIÓN DEL ALMIDÓN DE FRÉJOL



**Figura 14:** Gránulos de almidón

Laboratorio de análisis físico químico UTN

En la Figura 14 se aprecian los gránulos de almidón de fréjol, que presentan forma irregular y no tienen una forma definida, es decir son fusiformes ya que algunos son ovalados, irregulares y circulares.

Se evaluó algunas propiedades funcionales del almidón de fréjol variedad cargabello rojo moteado que se muestran en la tabla 26, donde la gelatinización del

almidón inicia a 40°C y finaliza a 80°C, la preparación de la solución de almidón se realizó a 22 °C , hasta los 90 °C (temperatura de ebullición del agua en Quito), obteniendo una gradiente de 1.5 °C por minuto (**Ver Anexo 2**). Esto se puede relacionar con la investigación de Miranda *et al.* (2013) donde evaluó algunas propiedades funcionales del almidón de fréjol; obtuvo una temperatura de gelatinización inicial y final de (71°C) y (81°C) respectivamente

**Tabla 26.** Resultados del proceso de gelatinización del almidón de fréjol.

MUESTRA	INICIO DE PROCESO A 22 °C U.B.	INICIO GELIFC U.B °C	A 90°C U.B	20 MIN A90°C U.B	A 50°C U.B	MÉTODO
Fréjol	20	40 80	260	400	650	Amilografo Brabender
Gradiente de Temperatura 1.5°C/min						N 1732E Test Methods(1)

**UB:** Unidades Brabender

La concentración de almidón en el grano de fréjol fue 45,02 % del cual el 16.90% es contenido de amilosa y un 28.12% de amilopectina. (**Ver Anexo 3**). El porcentaje de amilosa apropiado para obtener un producto extrusado inflado y quebradizo, es aquel que está dentro del rango del 5% a 20 % de la materia prima (Gomez, 2013). A continuación se detalla en la tabla 27 una relación del contenido de almidón, amilosa y amilopectina entre el maíz –fréjol.

**Tabla 27.** Contenido de almidón, amilosa y amilopectina entre maíz –fréjol.

COMPONENTES	FRÉJOL %	MAÍZ %
ALMIDÓN	45.02	75

<b>AMILOSA</b>	16.90	25
<b>AMILOPECTINA</b>	28.12	50

---

Elaboración: Autor

Los almidones extruidos a altos contenidos de humedad y bajas temperaturas (110°C-130°C) dan productos extruidos densos y viscosos, contrario a almidones extruidos a bajos contenidos de humedad y altas temperaturas (150°C-198°C) se expanden fácilmente, obteniéndose productos de muy baja densidad y baja viscosidad. Almidones no modificados tienden a expandir fácilmente y dan productos extruidos con textura crujiente.

La relación de la amilosa y la amilopectina en el almidón influyen en la textura del producto final. La amilopectina favorece la expansión dando un producto muy liviano y frágil, inversamente, almidones con alto contenido en amilosa proporcionan productos densos y menos expandidos (Perez, 2009)

Por tanto, es necesaria la presencia de amilopectina para favorecer la expansión del producto pero se requiere también, la presencia de un contenido de amilosa apropiado, para otorgar un producto inflado, quebradizo y favorecer su crujencia, lo cual puede verse favorecido por los resultados obtenidos de la caracterización del almidón de fréjol.

## 4.2 PRODUCTO EXTRUIDO

### 4.2.1 ÍNDICE DE EXPANSIÓN SECCIONAL

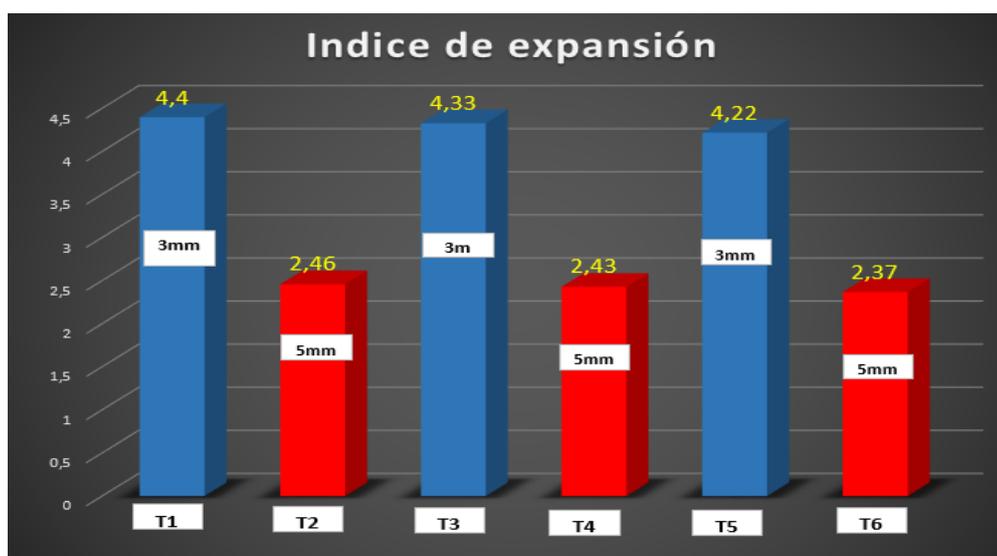
Para evaluar el índice de expansión, se cortó en piezas el producto extruido para cada tratamiento y se midió el diámetro de cada pieza por triplicado, empleando un micrómetro o tornillo de Palmer, el resultado se determinó con respecto al diámetro de salida de boquilla del extrusor 3 y 5 mm. Mediante la ecuación 1, se obtuvo los valores correspondientes al índice de expansión que se muestran en la tabla 28.

**Tabla 28.** Resultado promedio, para el índice de expansión de cada tratamiento.

TRATAMIENTOS	X
T1	4.40
T2	2.46
T3	4.33
T4	2.43
T5	4.22
T6	2.37

X: Valor promedio para cada tratamiento

En la Tabla 28 se aprecia que existe variación en los resultados del producto final, el índice de expansión en los tratamientos extrusados con el diámetro de salida de boquilla de 3 mm es mayor al de 5 mm. Lo anterior se puede observar en la figura 15.



**Figura 15:** Resultados obtenidos para el índice de expansión.

**Tabla 29.** Análisis de Varianza.

F.V.	G. L.	F. C.	F. T.
<b>TOTAL</b>	17		0.5% 0.1%
<b>TRAT</b>	5	8105.75 **	3.11 5.06
<b>FA</b>	2	68.50 **	3.89 6.93
<b>FB</b>	1	40375.25 **	4.75 9.33
<b>AXB</b>	2	8.25 **	3.89 6.93
<b>ERROR</b>	12		

CV: 0.59%

\*\* Altamente Significativo

En la Tabla 29 se detalla el análisis de varianza (ADEVA) para el índice de expansión del producto extruido, en la que se observa alta significancia para tratamientos, Factor A y B; y para la interacción AxB, el coeficiente de variación es de 0.59 %. Por lo que se procedió a realizar las pruebas de Tukey al 5 % para tratamientos y Diferencia mínima significativa (DMS) para el factor A y B.

**Tabla 30.** Prueba de TUKEY al 5 % para Tratamientos para la variable: Índice de expansión

TRATAMIENTOS		MEDIA	RANGOS
T1	A1B1	4.40	A
T3	A2B1	4.33	B
T5	A3B1	4.22	B
T2	A1B2	2.46	C
T4	A2B2	2.43	C
T6	A3B2	2.37	C

En la tabla 30 se aprecia la prueba de Tukey al 5% para tratamientos, esquematizada en 3 rangos A,B y C, donde T1 es el mejor tratamiento por ser mayor su índice de expansión, encontrándose en el rango A. El índice de expansión en los tratamientos con el diámetro de 3 mm es mayor al de 5 mm, esto se debe a la presión de expansión. Así como también Aguirre *et al.*, (2015) en su estudio utilizaron el índice de expansión como requisito para determinar parámetros óptimos de extrusión, siendo considerados los valores mayores a 2.40 como aceptables.

**Tabla 31.** Prueba de DMS al 5 % para Factor A para la variable: índice de expansión

FACTOR	MEDIAS	RANGO
A1	3.43	A
A2	3.38	B
A3	3.30	C

Según el análisis estadístico de diferencia mínima significativa (DMS) tabla 3, la mezcla más apropiada para la obtención del producto extruido es A1, que corresponde a la mezcla (95 % griz de maíz – 5 % griz de fréjol), por tener mayor el índice de expansión, encontrándose en el rango A. Esto pudiera deberse al mayor contenido de almidón, por efecto del griz de maíz, en comparación con el fréjol; ya que durante la extrusión, el almidón genera estructuras con mayor número de poros y tamaño, lo que favorece la expansión. Así mismo, el tipo de almidón también puede influir en el índice de expansión, por ejemplo, el almidón de maíz posee mayor contenido de amilopectina que el almidón de fréjol, lo que puede

afectar el grado de expansión del producto. (Camacho, 2014). Además, Garcia (2012) y Fernandez (2010) sostienen que el incremento del contenido de proteína en la mezcla reduce las posibilidades de una extrusión con expansión, así como también Cabrera (2016), afirma que a bajas concentraciones de fibra mayor expansión y a mayores concentraciones de fibra menor expansión. (Tabla 35 y 45)

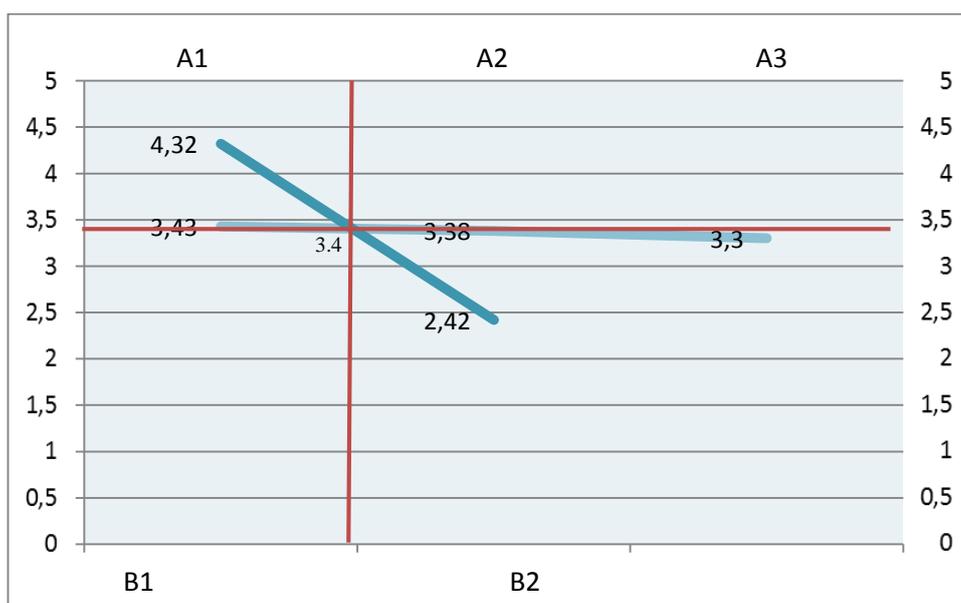
Dado que el fréjol presenta mayores contenidos de fibra, proteína y menor contenido de almidón que el maíz, se demuestra que a menor sustitución de fréjol, mayor es el índice de expansión del producto final.

**Tabla 32.** Prueba de DMS al 5 % para Factor B para la variable: índice de expansión.

<b>FACTOR</b>	<b>MEDIAS</b>	<b>RANGO</b>
B1	4.32	A
B2	2.42	B

Según el análisis estadístico de diferencia mínima significativa (DMS) de la Tabla 32, el diámetro de salida de boquilla apropiado del producto extrusado es B1 correspondiente a 3mm por presentar mayor índice de expansión, encontrándose en el rango A. Este resultado concuerda con Pérez (2009) quienes afirman que a menor diámetro de salida de boquilla será mayor la expansión,

Esto puede atribuirse a una relación directa entre la velocidad de tornillo y diámetro de salida, donde la energía mecánica específica generada por este factor, y posiblemente a los altos esfuerzos de cizalla y altas presiones generadas durante la extrusión permite modificar las propiedades termo-mecánicas de los materiales alimenticios y favorecer el índice de expansión Rueda (2004) . y que el mejor producto es aquel que expande más, siendo una característica muy importante para la comercialización.



**Figura 16.** Resultados del índice de expansión del producto extruido

En la Figura 16, se aprecia el punto de interacción de los factores; griz de maíz con 95 % y griz de fréjol 5 % (factor A), con diámetro de boquilla de 3 mm (factor B), alcanzando un índice de expansión de 3,4; punto en el cual se consigue una mejor expansión de la mezcla de griz de maíz y fréjol, además se evidencia que a menor diámetro de salida del producto extruido es mayor el índice de expansión, mencionado anteriormente.

En la investigación planteada el índice de expansión es de 3.4 superior al índice de expansión obtenido para cereales de  $1.60 \pm 0.034$  investigado por Cabrera *et al.*, (2016). Sin embargo los resultados obtenidos del producto extruido es inferior en mínima cantidad al reportado para botanas con harina de pescado ( $3.480 \pm 0.010$ ) (Ratankumar SR, 2014), debido a la baja cantidad de fibra presente en tales botanas y superior al índice de expansión obtenido para botanas con mezclas de avena y pericarpio de maíz nixtamalizado ( $1.310 \pm 0.010$ ) (Zambrano-Zaragoza ML, 2013). Cabe resaltar que el índice de expansión controla la relación existente entre la densidad global y la textura del producto extruido, características muy importantes desde el punto de vista comercial y sensorial, respectivamente (Guy, 2002).

#### 4.2.2 PROPIEDADES FÍSICO - QUÍMICAS.

#### 4.2.2.1 Humedad (%)

**Tabla 33.** Promedios obtenidos de cada unidad experimental

TRATAMIENTOS		X
T1	A1B1	3.84
T2	A1B2	3.97
T3	A2B1	3.83
T4	A2B2	3.96
T5	A3B1	3.84
T6	A3B2	3.96

X: Valor promedio para cada tratamiento

Los resultados detallados en la Tabla 33 muestran que el producto se encuentra dentro del porcentaje de humedad de 5 %, según establece la Norma INEN 2561:2010 (Bocaditos de productos vegetales).

**Tabla 34.** Análisis de Varianza

F.V.	G. L.	F. C.	F. T.
<b>TOTAL</b>	17		0.5% 0.1%
<b>TRAT</b>	5	148.00	** 3.11 5.06
<b>FA</b>	2	1.00	NS 3.89 6.93
<b>FB</b>	1	734.00	** 4.75 9.33
<b>AXB</b>	2	2.00	NS 3.89 6.93
<b>ERROR</b>	12		

CV: 0.26 %

\*\* Altamente Significativo

NS: No Significativo

En la Tabla 34 se puede apreciar el análisis de varianza (ADEVA) para la variable humedad del producto extruido, en la que se observa alta significancia para tratamientos y Factor B, el coeficiente de variación es de 0.26 %, por lo que se procedió a realizar las pruebas de Tukey al 5 % para tratamientos y Diferencia mínima significativa (DMS) para el factor B.

**Tabla 35.** Prueba de TUKEY al 5 % para Tratamientos para la variable Humedad (%)

TRATAMIENTOS	MEDIA	RANGOS	
T2	A1B2	3.97	A
T4	A2B2	3.96	A
T6	A3B2	3.96	B
T5	A3B1	3.84	C
T1	A1B1	3.84	C
T3	A2B1	3.83	C

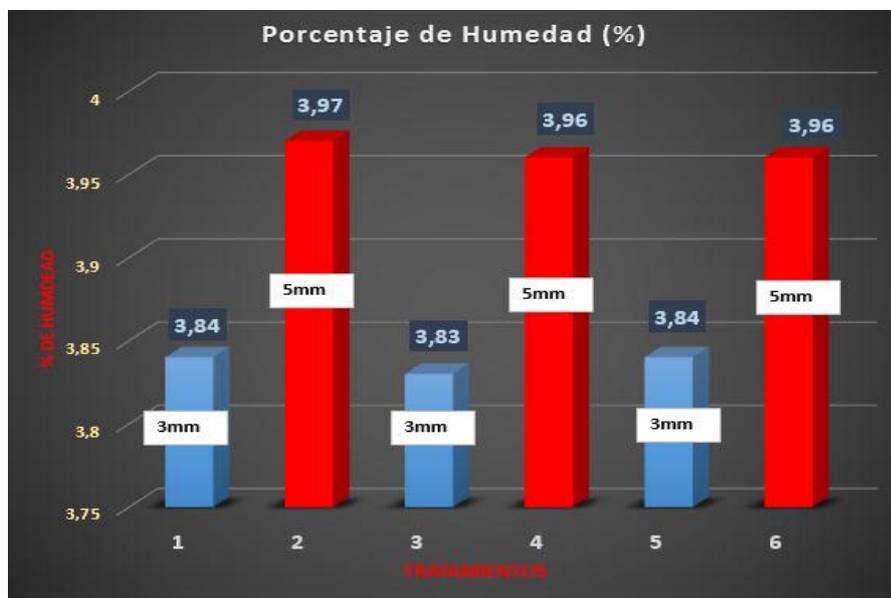
En la Tabla 35 se muestra la prueba de Tukey al 5% para tratamientos, esquematizada en 3 rangos A,B y C, donde T3, T1 y T5 son los mejores tratamientos por tener menor contenido de humedad, encontrándose en el rango C. Igualmente Salas (2012) menciona que a menor humedad del producto extruido da como resultado una mejor crujencia y mayor será la expansión. Además es un índice de estabilidad para el producto puesto que existe una relación, aunque imperfecta entre la humedad y su deterioro por inhibición microbiana (Rojas, 2015).

**Tabla 36.** Prueba de DMS al 5 % para Factor B para la variable Humedad (%)

FACTOR	MEDIAS	RANGO
B2	3.96	A
B1	3.83	B

Según el análisis estadístico de diferencia mínima significativa (DMS) de la tabla 36, el diámetro de salida de boquilla apropiado para el producto extrusado es B1 correspondiente a 3 mm por tener menor concentración de humedad 3.83 encontrándose en el rango B. Perez (2009) y Salas (2012) concuerdan que a menor diámetro de salida de boquilla mayor será la expansión y por ende menor el contenido de humedad por la presión generada con este diámetro. Además Guy (2002) menciona que para la obtención de productos expandidos se emplean presiones elevadas con boquillas de orificios pequeños, donde La rápida liberación de la presión que se produce a la salida de la boquilla provoca la expansión

instantánea del vapor y el gas que contiene el alimento, dando lugar a un producto de baja densidad donde el agua que contiene se pierde por evaporación.



**Figura 17.** Contenido de humedad en el producto extruido

Es fácil observar en la Figura 17 que a menor diámetro de salida de boquilla menor es la humedad del producto final, ya que los tratamientos T1, T3 y T5 (correspondientes a un diámetro de boquilla de 3mm) son los que obtuvieron menor humedad del producto, debido a la mayor presión de salida ejercida en la boquilla, lo cual induce a una mayor pérdida de agua en el producto extrusado. Como lo afirman Aguirre *et al.*, (2015) en su estudio utilizaron un diámetro de boquilla de 3mm obteniendo mejores resultados ya que con la mayor presión ejercida obtuvo productos de mayor crocancia esto se debe al menor contenido de humedad.

#### 4.2.2.2 Proteína (%)

**Tabla 37.** Promedios obtenidos de cada unidad experimental

TRATAMIENTOS		X
T1	A1B1	16.30
T2	A1B2	16.32

<b>T3</b>	<b>A2B1</b>	16.64
<b>T4</b>	<b>A2B2</b>	16.70
<b>T5</b>	<b>A3B1</b>	17.05
<b>T6</b>	<b>A3B2</b>	17.11
	$\Sigma$	100.12

X: Valor promedio para cada tratamiento

Los resultados del producto extruido detallados en la Tabla 37 indican que se encuentran dentro el porcentaje de proteína mínimo del 3 %, según establece la Norma técnica colombiana para extruidos expandidos a base de cereales (NTC 3652-1996).

**Tabla 38.** Análisis de Varianza

<b>F.V.</b>	<b>G. L.</b>	<b>F. C.</b>		<b>F. T.</b>	
<b>TOTAL</b>	17			0.5%	0.1%
<b>TRAT</b>	5	1807.5	**	3.11	5.06
<b>FA</b>	2	4491.5	**	3.89	6.93
<b>FB</b>	1	49.00	**	4.75	9.33
<b>AXB</b>	2	3.5000	NS	3.89	6.93
<b>ERROR</b>	12				

CV: 0.08%

\*\* Altamente Significativo

NS: No Significativo

En la Tabla 38 se detalla el análisis de varianza (ADEVA) para la variable proteína del producto extruido, donde se observa alta significancia para tratamientos, Factor A y Factor B, el coeficiente de variación es de 0.08 %. Por consiguiente se procedió a realizar las pruebas de Tukey al 5 % para tratamientos y Diferencia mínima significativa (DMS) para factores A y B.

**Tabla 39.** Prueba de TUKEY al 5 % para Tratamientos para la variable Proteína(%)

<b>TRATAMIENTOS</b>	<b>MEDIA</b>	<b>RANGOS</b>
T6	A3B2	17.11
T5	A3B1	17.05
T4	A2B2	16.70
T3	A2B1	16.64

T2	A1B2	16.32	C
T1	A1B1	16.30	C

En la Tabla 39 se muestra la prueba de Tukey al 5% para tratamientos, esquematizada en 3 rangos A,B y C, donde T6 y T5 son los mejores tratamientos por tener mayor concentración de proteína, encontrándose en el rango A. Se determinó que existe diferencia entre el contenido nutricional de las materias primas, destacándose el porcentaje de proteína para el griz de fréjol con el 21.52%, mientras que para el griz de maíz es de 9.35%. El griz de fréjol sobresale en este parámetro y por ende las mezclas con mayor concentración de fréjol tendrán mayor contenido de proteína como en los tratamientos 5 y 6

**Tabla 40.** Prueba de DMS al 5 % para Factor A para la variable Protéina (%)

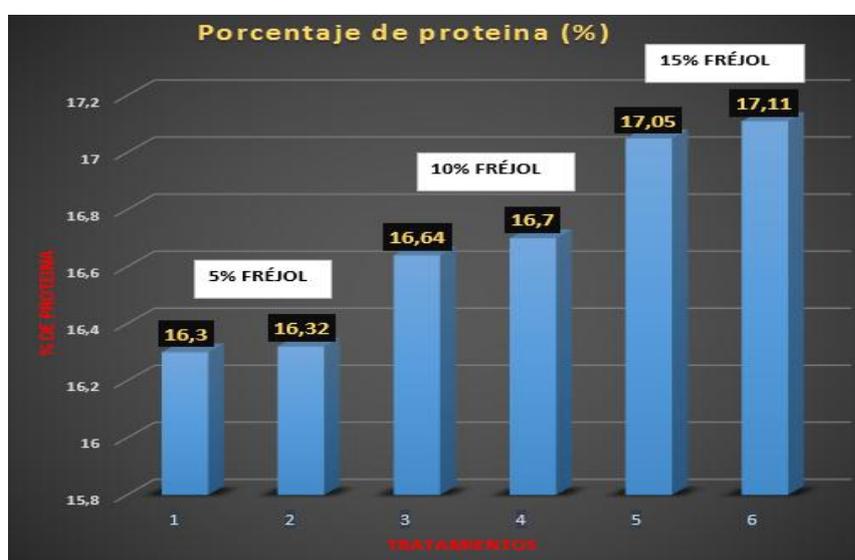
FACTOR	MEDIAS	RANGO
A3	17.08	A
A2	16.67	B
A1	16.31	C

Según el análisis estadístico de diferencia mínima significativa (DMS), la mezcla óptima para la obtención del producto extruido es A3, correspondiente a la mezcla (85 % griz de maíz – 15 % griz de fréjol), por tener una mayor concentración de proteína del 17.08 superior a los demás tratamientos, encontrándose dentro del rango A. Además Pérez *et al.* (2012), manifiestan que el contenido de proteína del producto extruido depende de la combinación de la mezcla, este resultado concuerda con la prueba de tukey realizada para los tratamientos según la tabla 39.

**Tabla 41.** Prueba de DMS al 5 % para Factor B para la Proteína (%)

FACTOR	MEDIAS	RANGO
B2	16.71	A
B1	16.66	B

Según el análisis estadístico de diferencia mínima significativa (DMS) de la tabla 41, el diámetro de salida de boquilla apropiado para el producto extrusado es B2 correspondiente a 5 mm por generar un producto extruido con mayor concentración de proteína, encontrándose en el rango A. Esto se debe a la desnaturalización de la proteína que a mayor presión y temperatura genera una mayor pérdida en su contenido. Como lo afirma Aguirre *et al.*, (2015) en su estudio quien utilizó un diámetro de boquilla de 3mm que generó mayor presión de salida que modificó algunas propiedades físico-químicas en el producto.



**Figura 18.** Contenido de proteína en el producto extruido

En la Figura 18 se observa fácilmente que el resultado de los tratamientos con mayor contenido de proteína son los que mayor porcentaje de incorporación de fréjol tienen en la mezcla.

Con lo expuesto el snack a base de maíz y fréjol con el contenido de proteína mínimo de 16.30% y máximo de 17.11% se destaca en relación a la investigación realizada por Pérez *et al.* (2007), ya que en su estudio de extrusión comprobó que el contenido de proteína depende de la combinación de la mezcla, resultando como

mejor mezcla del 50% de maíz y 50% de fréjol, con la concentración del 16% de proteína.

Cabe mencionar que en la investigación que realizó Pérez *et al.* (2007), se utilizó un proceso de extrusión por cocción lo cual representa un mayor estrés para la mezcla, reduciendo considerablemente el contenido de proteína inicial a diferencia del proceso llevado a cabo en esta investigación. Además en la línea de producción para extruidos de maíz como es el caso de los chitos, el contenido de proteína es del 10%.

#### 4.2.2.3 Grasa (%)

**Tabla 42.** Promedios obtenidos de cada unidad experimental

TRATAMIENTOS		X
T1	A1B1	1.09
T2	A1B2	1.09
T3	A2B1	1.05
T4	A2B2	1.06

<b>T5</b>	<b>A3B1</b>	0.98
<b>T6</b>	<b>A3B2</b>	0.97
	$\Sigma$	1.04

X: Valor promedio para cada tratamiento

Los resultados del producto extruido detallados en la Tabla 42 muestran que se encuentran dentro el rango que establece la Norma INEN 2561:2010 (Bocaditos de productos vegetales) de porcentaje de grasa máximo del 40 %.

**Tabla 43.** Análisis de Varianza

<b>F.V.</b>	<b>G. L.</b>	<b>F. C.</b>		<b>F. T.</b>	
<b>TOTAL</b>	17			0.5%	0.1%
<b>TRAT</b>	5	70.931624	**	3.11	5.06
<b>FA</b>	2	175.82906	**	3.89	6.93
<b>FB</b>	1	0.042735	NS	4.75	9.33
<b>AXB</b>	2	1.478632	NS	3.89	6.93
<b>ERROR</b>	12				

CV: 1.04%

\*\* Altamente Significativo

NS: No Significativo

En la Tabla 43 se detalla el análisis de varianza (ADEVA) para la variable grasa del producto extruido, en la que se observa alta significancia para tratamientos y Factor A, el coeficiente de variación es de 1.04 %. Por lo tanto se procedió a realizar las pruebas de Tukey al 5 % para tratamientos y Diferencia mínima significativa (DMS) para el factor A.

**Tabla 44.** Prueba de TUKEY al 5 % para tratamientos para grasa (%)

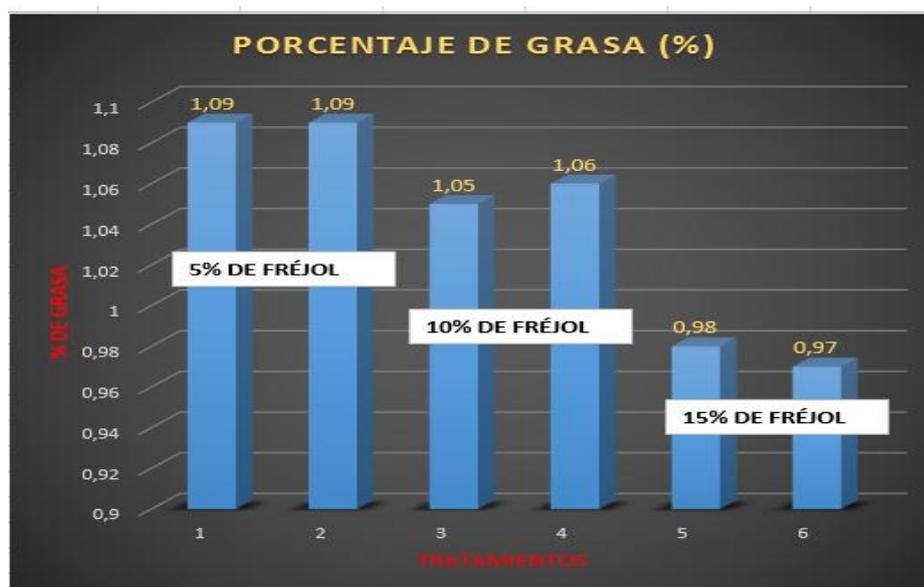
<b>TRATAMIENTOS</b>		<b>MEDIA</b>	<b>RANGOS</b>
T1	A1B1	1.09	A
T2	A1B2	1.09	A
T4	A2B2	1.06	B
T3	A2B1	1.05	C
T5	A3B1	0.98	D
T6	A3B2	0.97	D

En la Tabla 44 se muestra la prueba de Tukey al 5% para tratamientos, esquematizada en 4 rangos A,B, C y D, donde T6 y T5 son los mejores tratamientos por tener menor concentración de grasa, encontrándose en el rango D. Se determinó que existe diferencia entre el contenido nutricional de las materias primas, destacándose el porcentaje de grasa para el gritz de maíz con el 1.96%, mientras que para el gritz de fréjol es de 0.77%. El gritz de maíz sobresale en este parámetro y por ende las mezclas con menor concentración de maíz tendrán menor contenido de grasa, como se lo comprobó en los tratamientos T6 y T5.

**Tabla 45.** Prueba de DMS al 5 % para Factor A para la Grasa

<b>FACTOR</b>	<b>MEDIAS</b>	<b>RANGO</b>
A1	1.09	A
A2	1.05	B
A3	0.98	C

Según el análisis estadístico de diferencia mínima significativa (DMS) tabla 45, la mezcla más apropiada para la obtención del producto extruido es A3, correspondiente a la mezcla (85 % gritz de maíz – 15 % gritz de fréjol), por tener menor concentración de grasa, encontrándose en el rango C. Sin embargo Pérez et al. (2007), en su estudio afirman que el contenido de grasa disminuye después de la extrusión, así como también depende de la combinación de la mezcla utilizada.



**Figura 19.** Contenido de grasa en el producto extruido

En la Figura 19 se observa un mayor contenido de grasa en los tratamientos con menor porcentaje de fréjol en la mezcla. Con lo expuesto el snack a base de maíz y fréjol se destaca en relación a la investigación realizada por Pérez *et al.* (2007) ya que sostienen que el contenido de grasa disminuye después de la extrusión, el porcentaje de grasa fue de 0,40% para la mezcla (50% maíz con 50% fréjol) cabe mencionar que el producto extruido es similar, ya que presenta un contenido de grasa máximo del 1.09% y mínimo de 0.97%, por otra parte algunas marcas comerciales de Snacks, en su línea de producción en extruidos de maíz como es, el contenido de grasa es del 20%; Esto se debe a que en los dos productos se añadió oleína de palma.

#### 4.2.2.4 Carbohidratos (%)

**Tabla 46.** Promedios obtenidos de cada unidad experimental

TRATAMIENTOS		X
T1	A1B1	82.70
T2	A1B2	82.59
T3	A2B1	82.71
T4	A2B2	82.63
T5	A3B1	82.66
T6	A3B2	82.66
	$\Sigma$	82.65

X: Valor promedio para cada tratamiento

El porcentaje máximo de carbohidratos según la Norma técnica colombiana para extruidos expandidos a base de cereales (NTC 3652-1996) es de 95%. En los resultados del producto extruido detallados en la tabla 46 se aprecia que se encuentran dentro el rango establecido por la norma.

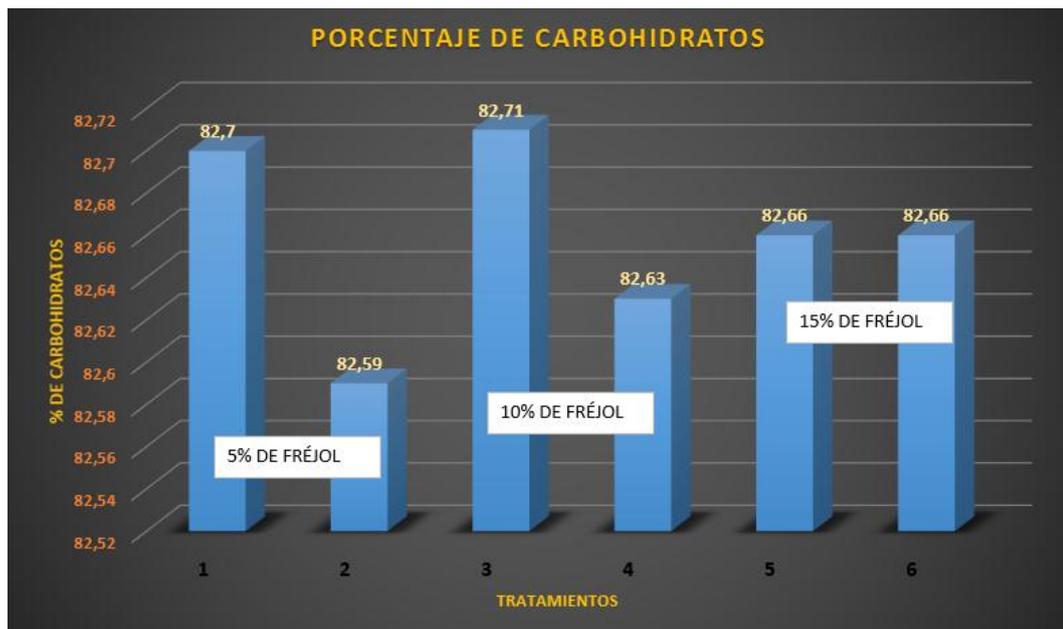
**Tabla 47.** Análisis de Varianza

F.V.	G. L.	F. C.		F. T.	
<b>TOTAL</b>	17			0.5%	0.1%
<b>TRAT</b>	5	1.4359	NS	3.11	5.06
<b>FA</b>	2	0.2564	NS	3.89	6.93
<b>FB</b>	1	4.4615	NS	4.75	9.33
<b>AXB</b>	2	1.1282	NS	3.89	6.93
<b>ERROR</b>	12				

CV: 0.076%

NS: No Significativo

En la Tabla 45 se detalla el análisis de varianza (ADEVA) para la variable de carbohidratos del producto extruido, en la que no existe significancia, el coeficiente de variación es de 0.067%.



**Figura 20:** Contenido de carbohidratos en el producto extruido

En la Figura 20 los tratamientos presentan el contenido de carbohidratos es inferior al 95%, porcentaje establecido en la Norma técnica colombiana para extruidos expandidos a base de cereales (NTC 3652-1996)

Con lo expuesto el snack a base de maíz y fréjol se destaca sobre el contenido de carbohidratos de los productos que se comercializa , en su línea de producción para extruidos de maíz como es el caso de los chitos el contenido de carbohidratos es del 70%; Cabe destacar que el producto elaborado a base de griz de maíz y fréjol tiene la concentración de carbohidratos que varía desde 82.59% - 82.71%, el consumo de carbohidratos por día esta en un rango de 225 g a 250 g, por lo tanto el snack es un alimento que puede ser acompañado con otros alimentos para el consumo diario, según la recomendación realizada por la doctora Lumbano (2014).

#### 4.2.2.5 Fibra (%)

**Tabla 48.** Promedios obtenidos de cada unidad experimental.

TRATAMIENTOS		X
T1	A1B1	0.66
T2	A1B2	0.65
T3	A2B1	0.68
T4	A2B2	0.68
T5	A3B1	0.68
T6	A3B2	0.71
	$\Sigma$	0.68

X: Valor promedio para cada tratamiento

En la Tabla 48 se aprecia los promedios de resultados, para cada tratamiento en la variable fiba.

**Tabla 49.** Análisis de Varianza

F.V.	G. L.	F. C.		F. T.	
TOTAL	17			0.5%	0.1%
TRAT	5	2.3333	NS	3.11	5.06
FA	2	4.3333	*	3.89	6.93
FB	1	0.3333	NS	4.75	9.33
AXB	2	1.5000	NS	3.89	6.93
ERROR	12				

CV: 3,62 %

\* Significativo

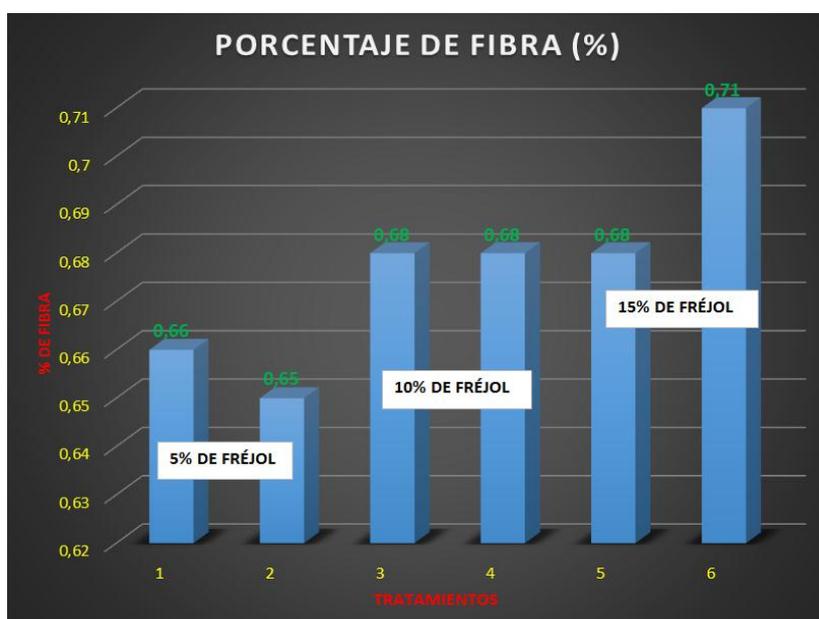
NS: No Significativo

En la Tabla 49 se detalla el análisis de varianza (ADEVA) para la variable fibra del producto extruido, en la que se observa significancia para el Factor A, el coeficiente de variación es de 3.62 %. Por lo que se procedió a realizar las pruebas de Diferencia mínima significativa (DMS) para el factor A.

**Tabla 50.** Prueba de DMS al 5 % para Factor A para la variable fibra

FACTOR	MEDIAS	RANGO
A3	0.70	A
A2	0.68	B
A1	0.66	B

Según el análisis estadístico de diferencia mínima significativa (DMS) tabla 50, la mezcla más apropiada para la obtención del producto extruido es A3, que corresponde a la mezcla 85 % gritz de maíz – 15 % gritz de fréjol por tener mayor concentración de proteína, encontrándose en el rango A, esto ya que se determinó que existe diferencia entre el contenido nutricional de las materias primas, destacándose el porcentaje de fibra para el gritz de fréjol con el 3.14%, mientras que para el gritz de maíz es de 2.00%. El gritz de fréjol sobresale en este parámetro y por ende las mezclas con mayor concentración de frejol tendrán mayor contenido de fibra en el producto final.



**Figura 21.** Contenido de fibra para el producto extruido

En la Figura 21 se aprecia el contenido de fibra con un máximo de 0.71% y mínimo de 0.66%, las cuales destacan en relación a los productos que se ofrecen en el mercado, en sus productos obtenidos por extrusión de maíz, el contenido de fibra

es del 0%; Cabe destacar que el producto elaborado a base de griz de maíz y fréjol es mejor, pues los productos que ofrecen actualmente, no aportan fibra a la dieta alimenticia. La concentración de fibra en el producto final varía desde 0.65%-0.71%, mientras que en la investigación realizada por *Pérez et al.*, (2007), tiene una concentración de fibra del 0.68% para la mezcla (50% maíz con 50% fréjol).

### **4.2.3 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES CUALITATIVAS**

#### **4.2.3.1 Prueba de comparaciones múltiples.**

Las variables cualitativas analizadas fueron color, olor, sabor textura y aceptabilidad. El análisis sensorial se realizó a todas las mezclas con un panel de 15 degustadores, conformado por 15 estudiantes de la Universidad Técnica del Norte, utilizando fichas de evaluación organoléptica. Para la evaluación de los datos registrados, se aplicó la prueba no paramétrica de Friedman.

Para Anzaldúa (1994), “este método se llama método de comparaciones múltiples y resulta muy útil para evaluar el efecto de variaciones en una formulación, la sustitución de un ingrediente, material de empaque, las condiciones de proceso, entre otros”

En bocadillos donde el producto extruido constituye el alimento definitivo, las propiedades sensoriales son extremadamente importantes para la aceptación del producto por parte del consumidor. Para materiales extruidos destinados a mezclados con otros componentes, las características del producto definitivo serán más importantes (Perez, 2009)

#### **4.2.3.2 Color.**

Hernández (2005), indica que la evaluación sensorial del color es un atributo externo que se realiza a través del sentido de la vista. Para que un producto sea de calidad debe presentar un color uniforme y atractivo, esto determinará su aceptabilidad. Se elaboró una ficha en la que se asignó valores, donde se calificó del 1 al 5 la percepción del color desde el menos hasta el más agradable; siendo 1 la calificación más baja y 5 la más alta tomando como referencia una escala de colores para el producto.

En la Tabla 51 se puede apreciar los rangos obtenidos a partir del análisis estadístico, obtenido de la calificación del panel conformado por 15 degustadores y los tratamientos.

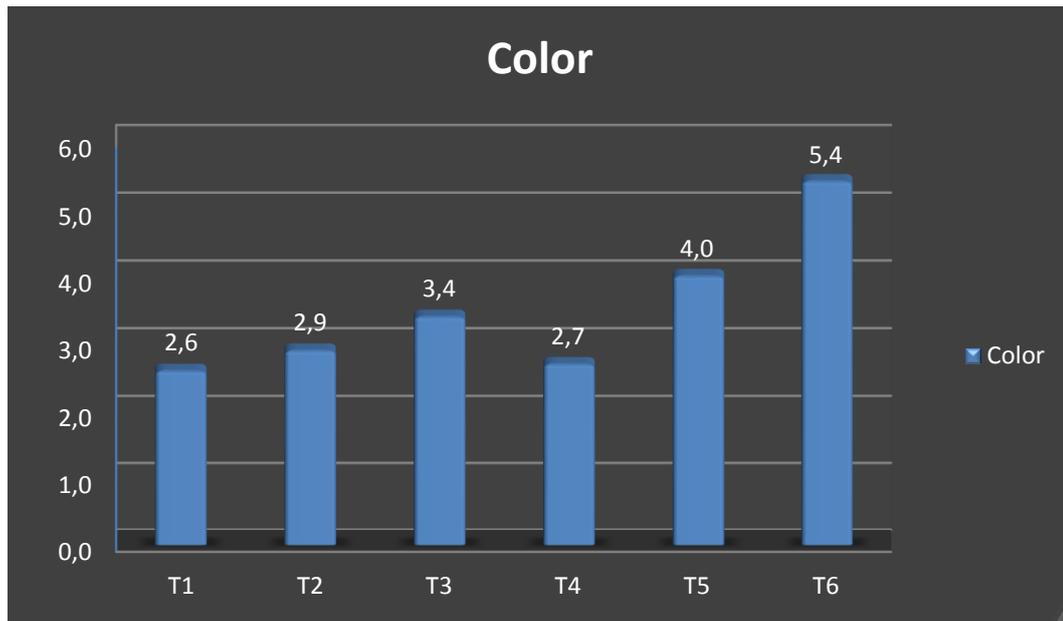
**Tabla 51:** Resultados de rangos obtenidos para el color

TRATAMIENTO	X
T1	2.6
T2	2.9
T3	3.4
T4	2.7
T5	4.0
T6	5.4

X: Valor promedio para cada tratamiento

**Tabla 52:** Resultados del cálculo para la variable color

Variable	$X^2Cal$	$X^2Tab$	
		5%	1%
cuantitativa			
Color	23,68**	11.071	15.086



**Figura 22.** Resultados de rangos obtenidos para color

La Tabla 51, expresa los resultados de evolución sensorial para la variable color, por lo tanto, T6 (85 % gritz de maíz – 15 % gritz de frejol, 5 mm) es el de mayor puntaje, ubicándose dentro de la escala de llamativo a la vista de los degustadores.

A pesar de los resultados obtenidos en el análisis sensorial, los catadores no encontraron diferencia significativa en el color (tabla 51). Sin embargo, los que presentaron un mayor puntaje fueron aquellos en los que el producto presentó un color más oscuro (ámbar). Se pudo observar que el tratamiento T6 obtuvo la valoración más alta efecto del porcentaje de mezcla entre el gritz de maíz y fréjol lo que generó los cambios en las características organolépticas del producto final.

### 4.2.3.3 Olor

Según Andalzua (1994), “el olor es la percepción por medio de la nariz de sustancias volátiles de objetos o productos. Además, para Hernandez (2005), el primer atributo tiene que ver con el producido por los alimentos por la volatilización de sustancias que se esparcen por el aire llegando hasta la nariz y el segundo consiste en la percepción de sustancias aromáticas de un alimento después de colocarlo en la boca. Se elaboró una ficha en la que se asignó valores, donde se calificó del 1 al 5 la percepción del olor desde el menor hasta el más fuerte; siendo 1 la calificación más baja y 5 la más alta.

En la Tabla 53 se detalla los rangos obtenidos a partir del análisis estadístico, obtenido de la calificación del panel conformado por 15 degustadores y los tratamientos.

**Tabla 53:** Resultados de rangos obtenidos para el olor.

TRATAMIENTOS	X
T1	2.4
T2	2.9
T3	3.4
T4	3.6
T5	4.5
T6	4.2

X: Valor promedio para cada tratamiento

**Tabla 54:** Resultados del cálculo para la variable olor

Variable cuantitativa	$X^2Cal$	$X^2Tab$	
		5%	1%
Olor	13.90 *	11.071	15.086



**Figura 23.** Resultados de rangos obtenidos para el olor

La Tabla 53, se puede apreciar los resultados para la variable olor, donde el T5 (85% griz de maiz – 15 % griz de frejol, 3 mm) es el de mayor puntaje, ubicándose dentro de la escala de llamativo al olfato de los degustadores.

Los catadores no encontraron diferencia significativa en el olor (tabla 53). Sin embargo, los que presentaron un mayor puntaje fueron aquellos en los que el producto presentó un olor más fuerte (muy fuerte). Lo que se pudo apreciar en las mezclas, fue que se vieron influenciadas por el porcentaje de fréjol, el cual realizó los cambios en las características organolépticas del producto final.

Una de las causas de pérdidas de olor la constituye la oxidación de pigmentos, vitaminas y lípidos durante el almacenamiento, la oxidación se produce por presencia de oxígeno, como consecuencia de la estructura porosa que se desarrolla durante el secado, la velocidad de deterioro depende en gran medida a la actividad de agua del alimento y la temperatura de almacenamiento Fellows (2002).

#### 4.2.3.4 Sabor.

Para Hernandez (2005), el sentido del gusto hace referencia a los sabores en los alimentos. Este atributo hace referencia a la combinación de tres propiedades: olor, aroma y gusto. Cuando un individuo o catador se encuentra resfriado no puede percibir olores ni sabores, es por esto que cuando se realice una evaluación sensorial de sabor, no sólo se debe tener en cuenta que la lengua del panelista este en perfectas condiciones, además no debe tener problemas en la nariz y garganta. Se elaboró una ficha en la que se asignó valores, donde se calificó del 1 al 5 la percepción del sabor de menor a mayor siendo 1 la calificación más baja y 5 la más alta.

En la Tabla 55 se detallan los rangos generados a partir del análisis estadístico, obtenido de la calificación del panel conformado por 15 degustadores y los tratamientos.

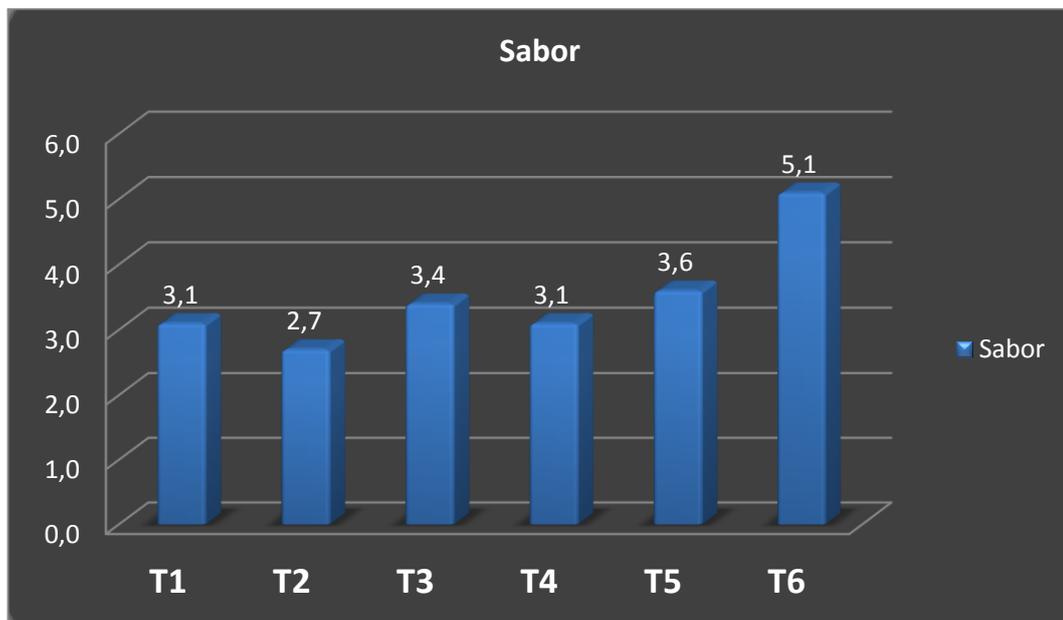
**Tabla 55:** Resultados de rangos obtenidos para el sabor

TRATAMIENTOS	X
T1	3.1
T2	2.7
T3	3.4
T4	3.1
T5	3.6
T6	5.1

X: Valor promedio para cada tratamiento

**Tabla 56:** Resultados del cálculo para la variable sabor

Variable cuantitativa	X <sup>2</sup> Cal	X <sup>2</sup> Tab	
		5%	1%
Sabor	14.56*	11.071	15.086



**Figura 24.** Resultados de rangos obtenidos para el sabor

Existe significancia para esta variable, por lo tanto, la mejor mezcla por tener las media más alta es el Tratamiento T6 por lo que se puede decir que esta mezcla son es la llamativa al sabor de acuerdo a los degustadores.

De acuerdo con los resultados del análisis sensorial, los catadores mostraron preferencia por la mezcla con porcentaje mayor a frejol la cual es la más apreciable a la sensibilidad gustativa de los degustadores.

#### 4.2.3.5 Textura.

Es una característica de estado sólido, cuyo conjunto es capaz de estimular los receptores mecánicos durante la degustación, particularmente los situados en la región bucal y del oído. Los receptores mecánicos son estructuras especializadas de un órgano excitable llamado sensorial, capaz de recibir el estímulo y convertirlo en un influjo nervioso (Tupaca, 2012). El producto debe estar razonablemente libre de unidades que sean duras o excesivamente blandas. Debe ser uniforme.

En la Tabla 57 se detalla los rangos obtenidos a partir del análisis estadístico, obtenido de la calificación del panel conformado por 15 degustadores y los tratamientos.

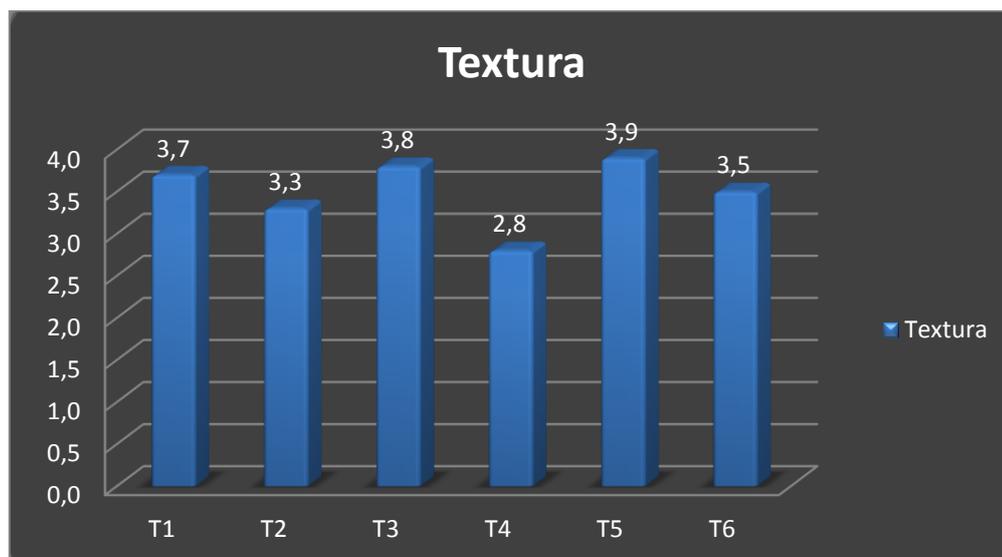
**Tabla 57:** Resultados de rangos obtenidos para la textura

TRATAMIENTOS	X
T1	3.7
T2	3.3
T3	3.8
T4	2.8
T5	3.9
T6	3.5

X: Valor promedio para cada tratamiento

**Tabla 58:** Resultados del cálculo para la variable textura

Variable cuantitativa	$X^2Cal$	$X^2Tab$	
Textura	3.50ns	5%	1%
		11.071	15.086



**Figura 25.** Resultados de los rangos obtenidos para la textura

En la Figura 24 se puede apreciar que no existe significancia donde los valores promedios de los tratamientos son muy parecidos.

#### 4.2.3.6 Aceptabilidad.

B.M. Watts (1992), menciona que las pruebas de aceptabilidad se emplean para determinar el grado de aceptación de un producto por parte de los consumidores. Para ello se pueden usar escalas categorizadas, pruebas de ordenamiento y pruebas de comparación pareada. La aceptabilidad de un producto generalmente indica el uso real del producto (compra y consumo). Se elaboró una ficha en la que se asignó valores, donde se calificó del 1 al 5 la aceptación del producto por parte del degustador, de menor a mayor; siendo 1 la calificación más baja y 5 la más alta.

En la Tabla 59 se puede apreciar los rangos obtenidos a partir del análisis estadístico, obtenido de la calificación del panel conformado por 15 degustadores y los tratamientos.

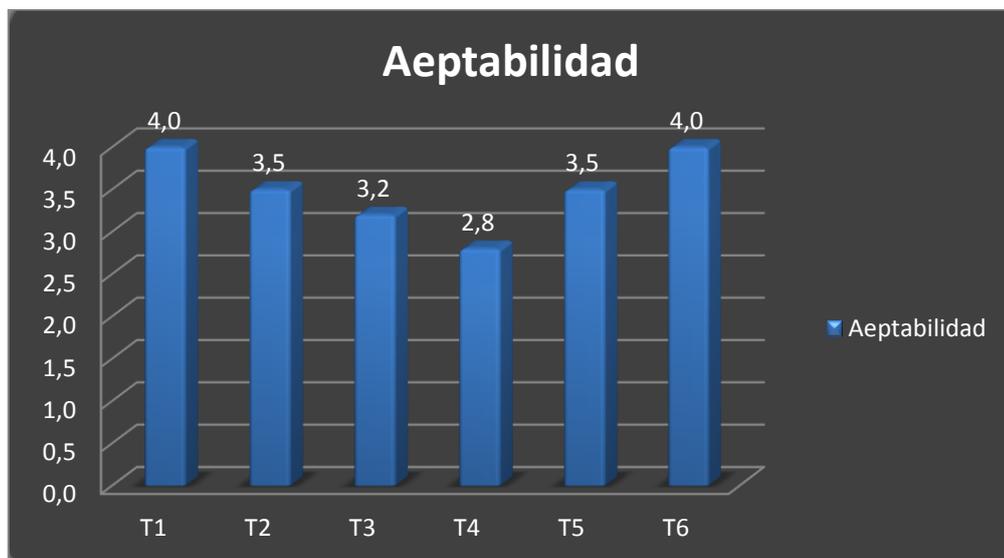
**Tabla 59:** Escala de Aceptabilidad Para los Consumidores

TRATAMIENTOS	X
T1	4.0
T2	3.5
T3	3.2
T4	2.8
T5	3.5
T6	4.0

X: Valor promedio para cada tratamiento

**Tabla 60:** Resultados del cálculo en la variable de aceptabilidad

Variable cuantitativa	$X^2Cal$	$X^2Tab$	
		5%	1%
Aceptabilidad	4.680ns	11.071	15.086



**Figura 26.** Valoración de aceptabilidad

En la Figura 26 se puede apreciar que no existe significancia donde los valores promedios de los tratamientos son muy parecidos.

### 4.3. RESULTADOS MICROBIOLÓGICOS DEL PRODUCTO EXTRUIDO

Este análisis se realizó a todos los tratamientos, con la finalidad de verificar la inocuidad del producto los resultados se detallan en la tabla 61.

**Tabla 61:** Resultados microbiológicos del producto extruido

PARÁMETRO ANALIZADO	UNIDAD	RESULTADOS						MÉTODO DE ENSAYO
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	
Recuento estándar en placa	UFC/g	<10	<10	<10	<10	<10	<10	AOAC 989.10
Mohos	UFC/g	<10	<10	<10	<10	<10	<10	AOAC 997.02
E coli	UFC/g	<10	<10	<10	<10	<10	<10	AOAC9 89.10

Realizados los análisis microbiológicos: Recuento estándar en placa, Mohos y E coli, se determinó que todos los tratamientos están dentro de los estándares que establece la Norma INEN 2561 (Bocaditos de productos vegetales)

#### 4.4 BALANCE DE MATERIALES PARA EL MEJOR TRATAMIENTO T6 (A3B2)

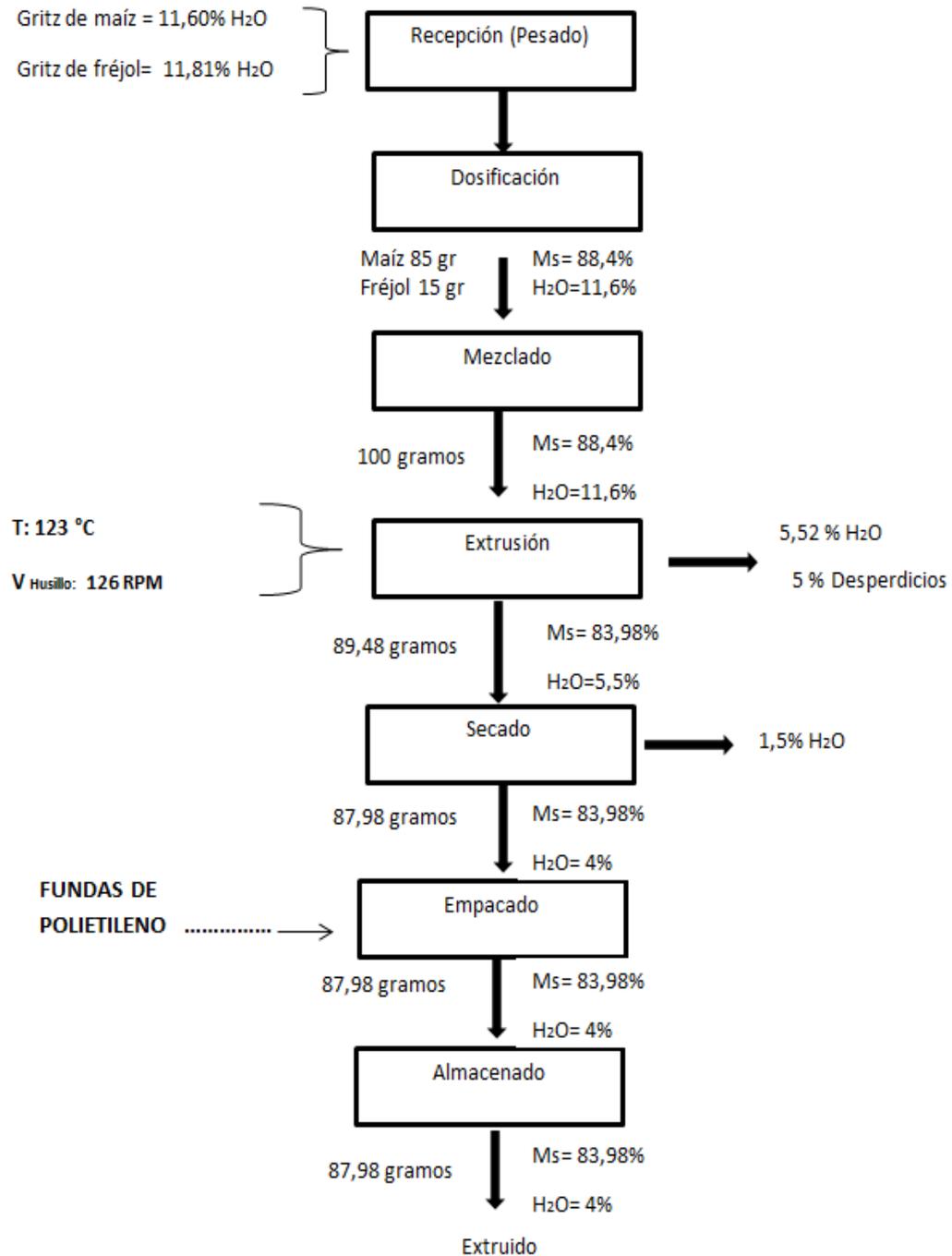


Figura 27. Diagrama de proceso para el mejor tratamiento

#### **4.5 RENDIMIENTO DEL MEJOR TRATAMIENTO**

El rendimiento del procesamiento del efecto de la mezcla griz de maíz *zea mays*-fréjol *phaseolus vulgaris* L y diámetro de boquilla en el producto extrusado fue de la siguiente manera:

$$R = (\text{masa final}/\text{masa inicial}) \times 100\%$$

$$R = (87.98\text{g}/100\text{g}) \times 100\%$$

$$R = 87.98\%$$

## **CAPITULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Con los resultados generados de la investigación realizada, se definen las siguientes conclusiones y recomendaciones:

#### **5.1 CONCLUSIONES.**

1. Los componentes orgánicos más sobresalientes en las materias primas utilizadas en el experimento se destaca principalmente la proteína del fréjol respecto al gritz de maíz. Esto se debe a que las leguminosas superan en el contenido del nutriente, considerándole como alimento proteicos.
2. Se determina que los gránulos de almidón de fréjol variedad cargabello rojo moteado presentan característica irregular y no tienen forma definida, es decir son fusiformes ya que algunos son ovalados, irregulares y circulares.
3. La concentración de almidón en el grano de fréjol es significativo, del cual el contenido de amilosa y amilopectina favorecen la extrusión de la mezcla, además se determinó que la gelatinización del almidón inició a 40 °C y finalizó a los 80° C, obteniendo una gradiente de temperatura de 1.5°C por minuto.
4. Los mejores tratamientos en el índice de expansión se logró con mezclas sometidas a extrusión con un diámetro de boquilla de 3mm.

5. Los mejores resultados presentaron los tratamientos T6 y T5, destacándose en el análisis proximal el contenido de proteína y aceptabilidad en el análisis sensorial.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- 1 En investigaciones futuras, se debe utilizar otras variedades de fréjol, ya que por su alto contenido de proteína ayuda a obtener productos de gran aporte nutricional y a la vez contribuir a la producción de una nueva gama de alimentos procesados.
- 2 Reemplazar los diámetros de boquilla de 3mm y 5mm, utilizando un menor diámetro de salida para conseguir productos con un mayor índice de expansión respecto a la investigación realizada, variar la temperatura de extrusión para mejorar las propiedades organolépticas del producto como sabor y textura.
- 3 Se recomienda hacer el análisis proximal de las materias primas a utilizar, previo a la extrusión, principalmente el contenido de proteína debido a que este es un factor que incide en la expansión de la mezcla, ya que a mayor incorporación de este nutriente disminuye la expansión.
- 4 Se recomienda monitorear las condiciones del extrusor durante el proceso de extrusión para evitar variaciones que afecten la calidad del producto final.
- 5 Utilizar aditivos como sal o estevia, para mejorar las características organolépticas del producto elaborado, sin afectar la composición nutricional del producto final.

## CAPITULO VI

### BIBLIOGRAFIA

- Aguirre Tafur, D. H., & Calderón Mera, Y. K. (2015). *Elaboración de una mezcla alimenticia extruida a base de harina de quinua (Chinopodium quinoa Willd), arroz (Oriza sativa) y frijol gandul (Canajuscajan) saborizado con harina de lúcuma*. Lima: Edmun.
- Alquinzones, U. G. (2009). *El maíz y su conservación*. México D.F: trillas.
- Andalzua, M. A. (1994). *La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica*. España: Acriba S.A Zaragoza.
- B.M. Watts, W. (1992). Métodos sensoriales básicos para la evaluación de alimentos. En W. B.M. Watts, *Métodos sensoriales básicos para la evaluación de alimentos*. (págs. 39-41). Ontario: International Development Research Centre.
- Bonill, M. N. (2010). *Manual de recomendaciones técnicas del cultivo de maíz*. Costa Rica.
- C., A. (2006). Ventas de snacks a nivel mundial. *Nielsen Company*, 3.
- Cabrera Canales, Acevedo Sandoval, Navarro Cortez, Falfán Cortés, Castro Rosas, & Gómez Aldapa. (2016). *ELABORACIÓN DE UN CEREAL PARA DESAYUNO A BASE DE MAÍZ AZUL*.

- Cadena, C. (2010). *Elaboración de un snack extruido expandido a base de chocho y gritz de maíz*. Quito.
- Callets, X. (2012). *Sistema de tratamiento térmico*. Ediciones Díaz Santos.
- Camacho, H. I.-M.-I.-P.-G.-C.-A. (2014). Effect of extrusion conditions on physicochemical characteristics and anthocyanin content of blue corn third-generacharacteristics and anthocyanin content of blue corn third-generacharacteristics and anthocyanin content of blue corn third-genera.
- Castro, M. (2017). *Rendimiento de maíz duro seco en invierno 2016*. Quito: Dirección de Análisis y Procesamiento de la Información, Coordinación General del Sistema de Información Nacional. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca.
- CORPEI. (2009). *PERFIL DE FRÉJOL*.
- E, P. (1998). *Manual agrícola de leguminosas*. Quito: INIAP.
- Esteves, C. (2015). *Situación actual y perspectivas de los alimentos "Snacks"*. Chile: Universidad de Chile, publicaciones misceláneas agrícolas.
- Ezpinoza, P., Vaca, R., Abad, J., & Crissman, C. (1996). *Raíces y tubérculos andinos cultivos marginados en el Ecuador. Situación actual y lilitaciones para la producción*. Quito: ABYA YALA.
- FAO. (2004). <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1028s/a1028s02.pdf>. Obtenido de <ftp://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1028s/a1028s02.pdf>
- FAO, A. O. (2010). *Estudio de valor nutritivo de los snacks*. FAO.
- Fellows, P. (2000). *Tecnología del procesado de los alimentos*. Zaragoza: Acribia, S.A.
- Fernandez, J. (2010). *Tecnología del procesado de los alimentos*. Zaragoza: Acriba S.A.
- GUY, R. (2002). *Ingeniería y Tecnología de los alimentos. Industrias alimentarias, Ciencia y tecnología de los alimentos*. Acribia, s.a.

- Gomez, L. P. (2013). *Obtencion de productos directamente expandidos por extrusión y botanas de 3a*. España: Acribia.
- Harper, J. &. (1979). Food extrusion C R C Critical Reviews in Food Science and Nutrition,. En J. &. Harper, *Food extrusion C R C Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, (págs. 11, 155-205).
- Hernandez, E. (2005). Evaluación sensorial. En E. Hernandez, *Evaluación sensorial* (págs. 5-23). Bogota: Universidad Nacional Abierta y a Distancia.
- Huber, G. (2010). *Developments and Trends in Extruded Snack*. Perú.
- Imbabura, D. p. (2017). *RENDICIÓN DE CUENTAS*. IBARRA.
- INEN. (2010). *Norma técnica ecuatoriana NTE INEN 2 561 :2010 Bocado de productos vegetales*. Quito: INEN.
- INIAP. (2004). *Raices y tuberculos andinos, alternativas para la conservación y uso sostenible en el Ecuador* . Quito-Ecuador .
- INIAP. (2014). *Banco de germoplasma de la subdireccion de recursos geneticos y biotecnologia - Maiz variedad Guandango*. Lima-Peru: INIAP.
- L., J. L. (2014). *Cómo deben distribuirse las calorías en una dieta equilibrada durante el día?* Saludyalgomas.
- MAGAP. (2013). *BOLETIN SITUACIONAL*. (MAGAP) Obtenido de <http://sipa.agricultura.gob.ec/phocadownloadpap/cultivo/2013/frejol.pdf>
- Martinez. (2012). *Desarrollo de alimentos precosidos por extrusión a base de maíz y leguminosas*.
- Mataix, J. (2012). *Nutrición y alimentación Humana: Nutrientes y Alimentos*. Barcelona: Oceano.
- Medeni, A. (2011). Advances in food extrusion technology. En A. A. Medeni Maskan, *Medeni Maskan, Aylin Altan*. Taylor & Francis Group.
- Morales, N. B. (2009). *Manual de recomendaciones tecnicas del cultivo de maiz* . Costa Rica .

- Moran. (2012). *Innovación en alimentos y bebidas, situación actual y perspectivas*. Lima: Retrieved.
- Muños, L. (2012). *Estación experimental Santa Catalina productos Andinos*. QUITO: INIAP.
- Nanni, L., & Bitocchi, E. (2011). *Mesoamerican origin of the common bean (Phaseolus vulgaris L)*. Mexico.
- Narvaez, M. (2010). *Estudio de la comparación de mezclas de diferentes materias primas*.
- Noriega, P. (2011). *Manual de procesos de alimentos*. Cali.
- Olaf, T., & Perez, W. (2009). *Tecnología de extrusión en alimentos. Ciencia y Tecnología de Alimentos*. D - Instituto de Investigaciones para la Industria Alimentaria.
- P, P., Miranda, V., Yesid, A., & Marrugo, L. (2013). *Caracterización Funcional del Almidón de Frijol Zaragoza (Phaseolus Lunatus L.) y Cuantificación de su Almidón Resistente*. Medellín: ISSN 0123-7799.
- Peralta, M. (2012). *Mejore su salud, nutrición y alimentación, consuma fréjol*. En I. Programa Nacional de Leguminosa y Granos Andinos. Experimental Santa Catalina. QUITO: INIAP.
- Perez, A. V. (2009). *Determinación de las condiciones técnicas para la elaboración de un Snack de maíz enriquecido con soya a escala industrial*. Quito.
- Pérez, C., Betancurth, D., Casotto, M., & Tovar, J. (2012). *Efecto de la extrusión sobre la biodisponibilidad de proteína y almidón en mezclas de harinas de maíz y frijol*. Lima: Scielo.
- Ponce, J. (2010). *Elaboración de un extruido a base de cereales*. Quito: Edmun.
- Ratankumar SR, M. R. (2014). *Optimum extrusioncooking conditions for improving physical properties of fish-cereal based snacks by response surface methodology*. Journal of Food Science and Technology 51:1827-.

- Rojas, D. L. (2015). *Elaboración de un alimento tipo Snack a partir de la semilla de camajón (esterculia apetala)*. Universidad Francisco Santander , San José de Cúcuta - Colombia.
- Rueda, J. K.-C.-B. (2004). Functional characteristics of texturized defatted soy flour. En J. K.-C.-B. Rueda, *Functional characteristics of texturized defatted soy flour*. (págs. 38, 63-73). Agrocienza.
- Salas, A. (2012). *Aplicacion del sistema HACCP en los alimentos extruidos* . Quito.
- Sharapin, N. (2000). *Fundamentos de la tecnología de productos fitoterapéuticos*. Santa Fe- Bogota: Primera edición .
- Torres, O. J. (2009). *Tecnología de extrusión en alimentos. ciencia y tecnología de alimentos vol. 16, no. 3, 2006*.
- Tupaca, V. (2012). *Influencia del tamaño de partícula, humedad y temperatura en el grado de gelatinización durante el proceso de extrusión*. Lima: Lepidium.
- Valladares, C. A. (2010). *Taxonomía y botánica de los cultivos de grano*. Honduras: La ceiba - Universidad Nacional Autonoma de Honduras.
- Vásquez, G. P. (1992). *El frejol arbustivo en Imbabura, sugerencias para su cultivo*. Quito - Ecuador.
- Villareal, F. (2006). *Determinación del efecto en la productividad de cinco dosis del bio-estimulante "florone" en tres variedades de arveja (Pisum Sativum) aplicado en dos épocas*. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- Zambrano-Zaragoza ML, G.-C. E.-V.-V.-G. (2013). *Effects of extrusion process in snacks of oatsnixtamalized corn pericarp mixtures on dietary fiber content and functional properties*. . CyTA-Journal of Food 11:38-45.

## **CAPITULO VII**

### **ANEXOS**

**7.1 ANEXO 1.-** ANALISIS FISICO QUIMICOS DEL GRITZ DE MAÍZ Y FRÉJOL

**7.2 ANEXO 2.-** AMILOGRAMA, ANALISIS GRADO DE GELATINIZCION.

**7.3 ANEXO 3.-** ANALISIS DEL CONTENIDO DE AMILOSA Y AMILOPECTINA

**7.4 ANEXO 4.-** ÍNDICE DE EXPANSIÓN DEL PRODUCTO EXTRUIDO.  
INEN 2561. BOCADITOS DE PRODUCTOS VEGETALES.

**7.5 ANEXO 5.-** ANALISIS FISICO- QUIMICO DEL PRODUCTO EXTRUIDO

**7.6 ANEXO 6.-** RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES CUALITATIVAS.

**7.7 ANEXO 7.-** FIGURAS REALIZADAS DURANTE LA INVESTIGACIÓN.

**7.8 ANEXO 8.-** INEN 2051 – GRANOS Y CEREALES. MAÍZ MOLIDO, SÉMOLA, HARINA, GRITZ REQUISITOS

**7.9 ANEXO 9.-** INEN 2561. BOCADITOS DE PRODUCTOS VEGETALES.

**7.10 ANEXO 10.-** NORMA TECNICA COLOMBIANA PARA PRODUCTOS EXTRUIDOS EXPANDIDOS A BASE DE CEREALES (NTC-3652-1996)

**7.11 ANEXO 11.-** NORMA NMX-F-006-1983-ALIMENTOS, GALLETAS, FOOD COOKING NORMAS MEXICANAS.

**7.1. ANEXO 1.- ANALISIS FISICO QUIMICOS DE GRITZ DE MAÍZ Y FREJOL**



**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°:	027-2017
Análisis solicitados por:	Sr. Adrián Burbano
Empresa:	No aplica

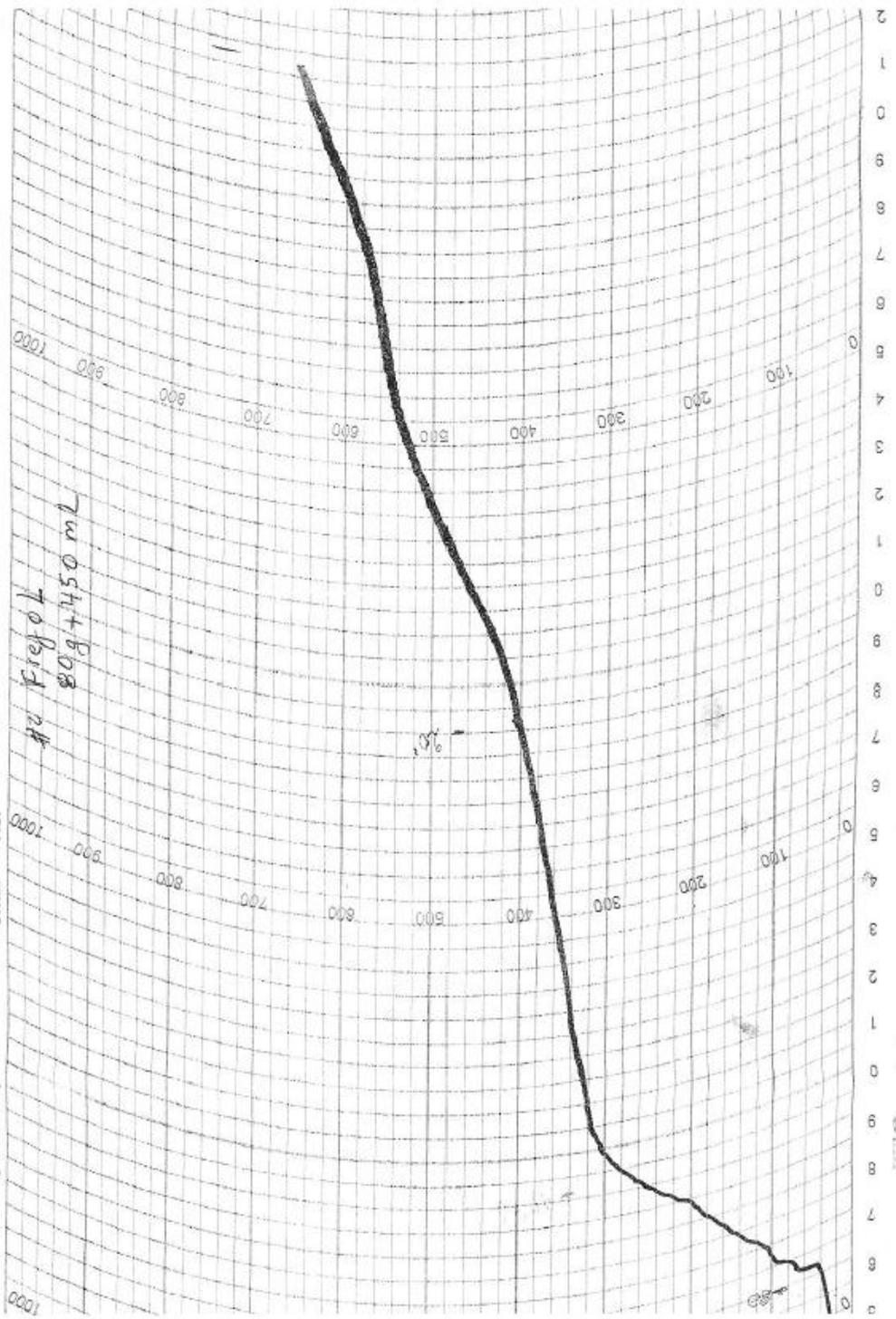
**7.2. ANEXO 2 .- AMILOGRAMA, ANALISIS GRADO DE GELATINIZACIÓN.**

BRABENDER OHG DUISBURG West Ger

Diagramm Nr. 297169  
Chart No.

*zu Frejöl  
80g + 450 ml*

Itt Konsistenz Viskosität  
ity Consistency Viscosity





**ESCUELA POLITECNICA NACIONAL  
DEPARTAMENTO DE CIENCIA DE ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA (DECAB)**

Campus Politécnico José Rubén Orellana Ricaurte  
Direc.: Pasaje Andalucía E12-A y Alfredo Mena Caamaño . Telf.: 2976300  
Personas de Contacto Ing. Silvia Oleas Telf. : 2976300 ext. 4236 e-mail: [silvia.oleas@epn.edu.ec](mailto:silvia.oleas@epn.edu.ec)  
Tga. Elisabeth Venegas . Telf.: 2976300ext. 2122 . e-mail: [elisabeth.venegas@epn.edu.ec](mailto:elisabeth.venegas@epn.edu.ec)



Quito- Ecuador

**AMILOGRAMA<sup>a</sup>-**

Muestras	Inicio Proceso a 22 °C U.B. <sup>b</sup>	Inicio Gelifc U.B °C	A 90°C U.B.	20 min A90 °C U.B.-	A 50°C U.B.	Método
Harina de Frejol DC-MU4083	20	40 80	260	400	650	Amilógrafo Brabender N 1732 E. Test Methods. (1)
<sup>a</sup> Adjunto copia de gráfico.						
<sup>b</sup> Unidades Brabender.						
1.- Preparación muestra: 80 g muestra , 450 ml agua 30 segundos mezclar en licuadora en low. Proceso gelatinización: Temp. Inicial 22°C, Temp. Máximo: 90°C, gradiente temperatura: 1.5°C/min, 20 min. a 90 °C y bajar temperatura a 50 °C.						

PROFESIONAL RESPONSABLE  
DEL ANÁLISIS

*Rosario Barrera*

Dra. Rosario Barrera

AUTORIDAD AUTENTICADORA  
(JEFE DECAB)

*Francisco Quiroz*

Ing. Francisco Quiroz



**QUEJAS Y SUGERENCIAS**

El cliente puede canalizar las quejas sobre los resultados de los análisis, sobre el tiempo de entrega del informe, u otro aspecto, a través del Jefe del DECAB, o de la persona Encargada de Recepción de Muestra y Atención al Cliente, ya sea en forma verbal o en forma escrita hasta 8 días después de la entrega del informe. En el DECAB se mantiene un registro de quejas y sugerencias con el fin de mejorar el Servicio al Cliente.

El laboratorio no se responsabiliza por el muestreo realizado antes de la entrega de las muestras al DECAB, pero si se responsabiliza de las muestras recibidas, tal como se las entrega.

### 7.3. ANEXO 3.- ANALISIS DEL CONTENIDO DE AMILOSA Y AMILOPECTINA



**INIA**

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



**SAIA**

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

<b>NOMBRE PETICIONARIO:</b> Sr. Vicente Burbano <b>DIRECCION:</b> Ibarra y Segundo Luis Moreno <b>FECHA DE EMISION:</b> 16 de mayo de 2017 <b>FECHA DE ANALISIS:</b> Del 18 de abril a 16 de mayo de 2017	<b>INSTITUCION:</b> Particular <b>ATENCIÓN:</b> Sr. Vicente Burbano <b>FECHA DE RECEPCION:</b> 17/04/2017 <b>HORA DE RECEPCION:</b> 12H00 <b>ANALISIS SOLICITADO:</b> Almidón, amilosa, amilopectina
--	--

ANALISIS	ALMIDON	AMILOSA	AMILOPECTINA	IDENTIFICACIÓN
METODO		MO-LSAIA-04		
METODO REF.		Morrison y Laigneliet 1963		
UNIDAD	%	%	%	
17-0539	45,02	16,90	28,12	Harina de fréjol (Vicente Burbano)
17-0540	50,33	25,69	38,11	Harina de Oca (Ximena Luna)
17-0541	48,85	12,94	30,89	Harina de mashua (Gabriela Puma)
17-0542	60,78	11,06	35,92	Harina de zanahoria blanca (Juan Carlos Morales)
17-0543	73,00	26,88	49,94	Harina de yuca (Mayra Pilaquinga)
17-0544	41,82	20,78	31,30	Harina de arveja (Orlando Pujota)

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



**RESPONSABLES DEL INFORME**  
  
**Dr. MSc. Iván Samaniego**  
**RESPONSABLE TECNICO**

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

## 7.4. ANEXO 4.- ÍNDICE DE EXPANSIÓN DEL PRODUCTO EXTRUIDO.



### UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

**FICAYA**

**Laboratorio de Análisis Físicos, Químicos y Microbiológicos**

Informe N°:	027-2017
Análisis solicitados por:	Sr. Adrián Burbano
Empresa:	No aplica
Muestrado:	Laboratorio
Fecha de recepción:	11 de mayo de 2017
Fecha de entrega informe:	18 de mayo de 2017
Ciudad:	Ibarra
Provincia:	Imbabura
No. De Lote	No aplica
No. Unidades Analizadas	18

#	Unidad	Lote
1	Extruido de maíz y fréjol	No aplica

Parámetro Analizado	Unidad	Resultados						Método de ensayo
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	
Índice de expansión	%	1.32	1.24	1.29	1.22	1.28	1.20	Medición micrómetro

Parámetro Analizado	Unidad	Resultados						Método de ensayo
		T1.1	T2.1	T3.1	T4.1	T5.1	T6.1	
Índice de expansión	%	1.31	1.23	1.30	1.22	1.27	1.18	Medición micrómetro

Parámetro Analizado	Unidad	Resultados						Método de ensayo
		T1.2	T2.2	T3.2	T4.2	T5.2	T6.2	
Índice de expansión	%	1.33	1.22	1.30	1.21	1.26	1.20	Medición micrómetro

Los resultados obtenidos pertenecen exclusivamente para las muestras analizadas

Atentamente:

Bioq. José Luis Moreno  
Técnico de Laboratorio



#### Visión Institucional

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

Av. 17 de Julio S-21 y José María  
Córdova. Barrio El Olivo  
Teléfono: (06)2897800  
Fax: Ext. 7711  
Email: utn@utn.edu.ec  
www.utn.edu.ec  
Ibarra - Ecuador

## 7.5. ANEXO 5.- ANALISIS FISICO QUIMICOS DEL EXTRUIDO



### UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

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

#### FICAYA

Laboratorio de Análisis Físicos, Químicos y Microbiológicos

Informe N°:	027-2017
Análisis solicitados por:	Sr. Adrián Burbano
Empresa:	No aplica
Muestrado:	Laboratorio
Fecha de recepción:	11 de mayo de 2017
Fecha de entrega informe:	18 de mayo de 2017
Ciudad:	Ibarra
Provincia:	Imbabura
No. De Lote	No aplica
No. Unidades Analizadas	18

#	Unidad	Lote
1	Extruido de maíz y fréjol	No aplica

Parámetro Analizado	Unidad	Resultados						Método de ensayo
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	
Humedad	%	3.83	3.97	3.82	3.95	3.84	3.96	AOAC 925.10
Proteína	%	16.28	16.32	16.64	16.70	17.05	17.10	AOAC 920.07
Grasa	%	1.10	1.11	1.04	1.05	0.99	0.98	AOAC 920.00
Carbohidratos	%	82.71	82.59	82.71	82.60	82.70	82.59	AOAC 920.05
Fibra	%	0.66	0.64	0.69	0.68	0.71	0.73	AOAC 920.05

Parámetro Analizado	Unidad	Resultados						Método de ensayo
		T1.1	T2.1	T3.1	T4.1	T5.1	T6.1	
Humedad	%	3.85	3.96	3.82	3.96	3.83	3.95	AOAC 925.10
Proteína	%	16.30	16.34	16.63	16.69	17.04	17.12	AOAC 920.07
Grasa	%	1.09	1.09	1.05	1.06	0.97	0.96	AOAC 920.00
Carbohidratos	%	82.69	82.59	82.71	82.71	82.59	82.80	AOAC 920.05
Fibra	%	0.68	0.65	0.68	0.69	0.62	0.70	AOAC 920.05

Parámetro Analizado	Unidad	Resultados						Método de ensayo
		T1.2	T2.2	T3.2	T4.2	T5.2	T6.2	
Humedad	%	3.84	3.97	3.84	3.97	3.84	3.96	AOAC 925.10
Proteína	%	16.31	16.30	16.65	16.71	17.07	17.11	AOAC 920.07
Grasa	%	1.08	1.08	1.05	1.06	0.97	0.96	AOAC 920.00
Carbohidratos	%	82.70	82.59	82.70	82.59	82.70	82.59	AOAC 920.05
Fibra	%	0.64	0.66	0.67	0.66	0.71	0.71	AOAC 920.05

Los resultados obtenidos pertenecen exclusivamente para las muestras analizadas

Atentamente:



#### Visión Institucional

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

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

## 7.6. ANEXO 6.- RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LAS VARIABLES CUALITATIVAS

### 7.6.1 ENCUESTA

## UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES  
FICAYA

### “EFECTO DE LA MEZCLA GRITZ DE MAÍZ *Zea mays* FRÉJOL *Phaseolus vulgaris* L Y DIÁMETRO DE BOQUILLA EN EL PRODUCTO EXTRUSADO”

Observe y deguste a cada de unas de las muestras presentadas, con una valoración de 1 para la las muestras calificándolas con la nota del 1 al 5 en cuanto al Color, olor, sabor, textura y aceptabilidad.

Color

1	2	3	4	5
---	---	---	---	---

CARACTERISTICAS/ TRATAMIENTOS	T1	T2	T3	T4	T5	T6
COLOR	Ligeramente intenso	1				
	Intenso	2				
	Ni muy intenso, ni muy claro	3				
	Claro	4				
	Ligeramente claro	5				

<b>CARACTERISTICAS/ TRATAMIENTOS</b>		<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>	<b>T6</b>
OLOR	Me gusta mucho	5					
	Me gusta	4					
	Ni me gusta, ni me disgusta	3					
	Me disgusta Levemente	2					
	No me gusta	1					

<b>CARACTERISTICAS/ TRATAMIENTOS</b>		<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>	<b>T6</b>
SABOR	Me agrada mucho	5					
	Me agrada	4					
	Ni me agrada, ni me desagrada	3					
	Me disgusta	2					
	Me disgusta mucho	1					

<b>CARACTERISTICAS/ TRATAMIENTOS</b>		<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>	<b>T6</b>
TEXTURA	Muy dura	5					
	Ligeramente dura	4					
	Ni muy duro, ni muy suave	3					
	Ligeramente suave	2					
	Muy suave	1					

<b>CARACTERISTICAS/ TRATAMIENTOS</b>		<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>T5</b>	<b>T6</b>
ACEPTABILIDAD	Me agrada mucho	5					
	Me agrada	4					
	Ni me agrada, ni me desagrada	3					
	Me disgusta	2					
	Me disgusta mucho	1					

## 7.6.2 DATOS TABULADOS DE LA ENCUESTA

- **Color.**

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	Sumatoria	Media
<b>T1</b>	4.5	2.5	4.5	4.0	1.5	2.5	1.0	2.5	5.0	1.0	1.0	1.5	2.5	3.0	1.5	38.5	2.6
<b>T2</b>	2.5	5.5	1.0	1.5	1.5	1.0	2.0	1.0	2.0	3.5	2.5	4.5	4.0	5.5	6.0	44.0	2.9
<b>T3</b>	2.5	2.5	4.5	1.5	3.5	2.5	4.0	5.0	2.0	3.5	2.5	4.5	5.5	3.0	4.0	51.0	3.4
<b>T4</b>	1.0	2.5	4.5	4.0	3.5	4.0	4.0	2.5	2.0	3.5	4.5	1.5	1.0	1.0	1.5	41.0	2.7
<b>T5</b>	4.5	2.5	2.0	4.0	5.5	5.5	4.0	5.0	5.0	3.5	4.5	4.5	2.5	3.0	4.0	60.0	4.0
<b>T6</b>	6.0	5.5	4.5	6.0	5.5	5.5	6.0	5.0	5.0	6.0	6.0	4.5	5.5	5.5	4.0	80.5	5.4

- **Olor.**

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	Sumatoria	Media
<b>T1</b>	6.0	2.5	2.0	2.5	1.5	2.5	2.0	4.0	1.5	1.5	1.5	2.0	2.0	1.0	3.5	36.0	2.4
<b>T2</b>	4.5	5.0	2.0	5.5	1.5	2.5	2.0	1.5	3.5	1.5	3.5	2.0	2.0	2.5	3.5	43.0	2.9
<b>T3</b>	2.0	2.5	2.0	2.5	3.0	5.5	4.5	6.0	1.5	4.0	1.5	4.5	5.0	5.0	1.0	50.5	3.4
<b>T4</b>	2.0	2.5	4.0	5.5	4.0	5.5	2.0	1.5	3.5	4.0	5.5	6.0	2.0	2.5	3.5	54.0	3.6
<b>T5</b>	4.5	6.0	5.5	2.5	5.5	2.5	4.5	4.0	5.5	6.0	3.5	4.5	5.0	5.0	3.5	68.0	4.5
<b>T6</b>	2.0	2.5	5.5	2.5	5.5	2.5	6.0	4.0	5.5	4.0	5.5	2.0	5.0	5.0	6.0	63.5	4.2

- **Sabor.**

	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12	R13	R14	R15	Sumatoria	Media
<b>T1</b>	6.0	6.0	1.0	3.5	1.5	1.5	5.5	3.0	1.0	1.5	1.0	5.0	6.0	2.0	2.0	46.5	3.1
<b>T2</b>	3.5	4.0	4.0	3.5	1.5	3.5	1.5	5.5	3.0	1.5	3.0	1.0	1.5	2.0	2.0	41.0	2.7
<b>T3</b>	3.5	1.5	4.0	1.0	3.0	3.5	3.5	5.5	3.0	3.0	3.0	2.5	4.0	4.5	5.0	50.5	3.4
<b>T4</b>	1.0	1.5	2.0	3.5	4.0	5.5	1.5	1.0	3.0	4.5	5.5	5.0	1.5	2.0	5.0	46.5	3.1
<b>T5</b>	3.5	4.0	4.0	3.5	5.5	1.5	3.5	3.0	5.5	4.5	3.0	2.5	4.0	4.5	2.0	54.5	3.6
<b>T6</b>	3.5	4.0	6.0	6.0	5.5	5.5	5.5	3.0	5.5	6.0	5.5	5.0	4.0	6.0	5.0	76.0	5.1

- **Textura.**

	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>R4</b>	<b>R5</b>	<b>R6</b>	<b>R7</b>	<b>R8</b>	<b>R9</b>	<b>R10</b>	<b>R11</b>	<b>R12</b>	<b>R13</b>	<b>R14</b>	<b>R15</b>	<b>Sumatoria</b>	<b>Media</b>
<b>T1</b>	4.5	4.5	1.5	2.5	2.0	5.5	3.5	5.5	3.5	1.0	1.5	4.5	6.0	5.5	3.5	55.0	3.7
<b>T2</b>	1.5	4.5	1.5	1.0	4.5	1.5	3.5	5.5	3.5	3.0	1.5	4.5	4.5	5.5	3.5	49.5	3.3
<b>T3</b>	4.5	4.5	3.5	5.0	4.5	1.5	6.0	3.5	6.0	3.0	3.5	1.5	2.0	1.5	6.0	56.5	3.8
<b>T4</b>	1.5	1.5	3.5	2.5	2.0	5.5	1.0	3.5	3.5	5.5	3.5	1.5	4.5	1.5	1.0	42.0	2.8
<b>T5</b>	4.5	1.5	5.5	5.0	6.0	3.5	3.5	1.5	3.5	5.5	5.5	4.5	2.0	3.5	3.5	59.0	3.9
<b>T6</b>	4.5	4.5	5.5	5.0	2.0	3.5	3.5	1.5	1.0	3.0	5.5	4.5	2.0	3.5	3.5	53.0	3.5

- **Aceptabilidad.**

	<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>	<b>R4</b>	<b>R5</b>	<b>R6</b>	<b>R7</b>	<b>R8</b>	<b>R9</b>	<b>R10</b>	<b>R11</b>	<b>R12</b>	<b>R13</b>	<b>R14</b>	<b>R15</b>	<b>Sumatoria</b>	<b>Media</b>
<b>T1</b>	3.0	5.5	1.5	1.5	4.0	5.5	5.5	6.0	5.0	4.0	1.0	5.0	5.5	1.5	6.0	60.5	4.0
<b>T2</b>	5.5	3.0	4.0	4.0	2.0	5.5	3.0	5.0	2.0	1.0	3.0	1.0	5.5	4.0	3.5	52.0	3.5
<b>T3</b>	5.5	3.0	4.0	4.0	5.0	1.5	3.0	1.5	2.0	2.0	3.0	2.5	3.0	4.0	3.5	47.5	3.2
<b>T4</b>	1.0	5.5	6.0	1.5	2.0	1.5	1.0	1.5	2.0	4.0	5.5	5.0	1.0	1.5	3.5	42.5	2.8
<b>T5</b>	3.0	3.0	4.0	4.0	6.0	3.5	3.0	3.5	5.0	4.0	3.0	2.5	3.0	4.0	1.0	52.5	3.5
<b>T6</b>	3.0	1.0	1.5	6.0	2.0	3.5	5.5	3.5	5.0	6.0	5.5	5.0	3.0	6.0	3.5	60.0	4.0

## **7.7. ANEXO 7.- FIGURAS**



**7.7.1.- Gritz de fréjol**



**7.7.2.- Gritz de maíz**



**7.7.3.- Extrusión del gritz de maíz y fréjol**



**7.7.4.- Extruido de gritz de maíz y fréjol**



**7.7.5.- Secado del extruido**



**7.7.6.- Producto extruido**



**7.7.7.- Almidón de fréjol**



**7.7.8.- Determinación del índice de expansión del extruido**



**7.7.9.- Evaluación sensorial del snack**



**7.7.10. – Snack de grits de fréjol y maíz**