

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA “JUAN MISAEL SARACHO”
FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA
CARRERA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS**

**ELABORACIÓN DE CEREAL EXTRUIDO A PARTIR DE HARINAS
COMPUESTAS**

Por:

LILIAN MARIANA MERCADO ALCOBA

Modalidad de graduación Proyecto de Grado presentada a consideración de la "UNIVERSIDAD AUTONOMA JUAN MISAEL SARACHO", como requisito para optar el grado académico de Licenciatura en Ingeniería de Alimentos.

Agosto de 2012

TARIJA - BOLIVIA

DEDICATORIA

Dedicado a:

Valentina

Mi ángel guardián.

Y las tres personas más importantes en mi vida: mis queridísimos padres Omar y Sabina, y mi amado esposo, Manuel.

ÍNDICE

	Página
CAPÍTULO I: Introducción.....	1
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Justificación.....	4
1.3. Objetivos.....	5
1.3.1. Objetivo general.....	5
1.3.2. Objetivos específicos.....	5
1.4. Problema.....	6
1.5. Hipótesis planteada.....	6
CAPÍTULO II: Marco teórico.....	7
2.1. Historia de los cereales de desayuno.....	8
2.2. Proceso de extrusión	9
2.2.1. Ventajas que ofrece el proceso de extrusión.....	10
2.2.2. Variables del proceso de extrusión	11
2.2.3. Cambios ocurridos durante el proceso de extrusión.....	12
2.2.4. Efecto del proceso de extrusión sobre proteínas, almidones, fibra y grasas.....	12
2.3. El extrusor.....	14
2.3.1. Clasificación de los extrusores.....	15
2.3.1.1. Clasificación de los extrusores según el número de tornillos....	15
2.3.1.2. Clasificación de los extrusores según la intensidad de cizalla...	16
2.3.1.3. Clasificación de los extrusores según la generación de energía térmica.....	17
2.4. Materias primas.....	18
2.4.1. Definición de harina compuesta.....	18
2.4.2. El maíz.....	19
2.4.2.1. Estructura del grano de maíz.....	21
2.4.2.2. Harina de maíz.....	22
2.4.3. El amaranto.....	23
2.4.3.1. Harina de amaranto.....	25
2.4.4. La soya.....	26
2.4.4.1. Torta de soya.....	26
2.5. Insumos para la elaboración de cereales extruidos.....	27
2.5.1. Edulcorante (Eludiet).....	27
2.5.2. Agua.....	28
2.5.3. Azúcar.....	28
CAPÍTULO III: Materiales y métodos.....	29
3.1. Introducción.....	30
3.2. Equipos y materiales necesarios.....	30
3.2.1. Extrusor de alimentos.....	30
3.2.2. Molino vertical de martillos.....	33
3.2.3. Quemador de llama directa a gas.....	33
3.2.4. Sellador eléctrico manual.....	34

3.2.5.	Envasadora al vacío.....	34
3.2.6.	Balanza electrónica de plataforma.....	35
3.2.7.	Tolva de recolección.....	36
3.2.8.	Equipos de laboratorio.....	36
3.2.8.1.	Tamizador vibratorio (Ro-Tap).....	36
3.2.8.2.	Balanza analítica.....	37
3.2.8.3.	Termómetro digital infrarrojo.....	38
3.2.8.4.	Material de laboratorio.....	38
3.2.8.5.	Utensilios auxiliares.....	38
3.3.	Materias primas e insumos.....	39
3.3.1.	Análisis fisicoquímico de la harina compuesta.....	40
3.4.	Proceso de elaboración de cereal extruido a partir de harina compuesta.....	41
3.4.1.	Armado de las piezas.....	42
3.4.1.1.	Armado del tornillo.....	43
3.4.1.2.	Armado del cabezal de corte del extrusor.....	44
3.4.2.	Dosificación.....	45
3.4.3.	Mezclado.....	45
3.4.4.	Tamizado.....	46
3.4.5.	Extrusión.....	46
3.4.6.	Enfriado.....	47
3.4.6.1.	Limpieza del equipo.....	47
3.4.7.	Envasado.....	49
3.5.	Diseño experimental.....	49
3.5.1.	Diseño experimental en la etapa de dosificación.....	50
3.5.2.	Diseño experimental en la etapa de envasado.....	52
3.6.	Evaluación sensorial.....	53
3.7.	Pruebas de envasado.....	55
CAPÍTULO IV: Cálculos y resultados.....		57
4.1.	Granulometría de las materias primas.....	58
4.1.1.	Granulometría de la mezcla de harinas de maíz (cruda y precocida).....	58
4.1.2.	Granulometría de la torta de soya.....	59
4.1.3.	Granulometría de la harina de amaranto.....	59
4.1.4.	Composición fisicoquímica de la harina compuesta.....	61
4.2.	Condiciones del proceso de extrusión.....	61
4.3.	Efecto del proceso de extrusión sobre las variables respuesta (contenido de proteína y humedad).....	62
4.3.1.	Plan de experimentación en la etapa de dosificación para el contenido de proteína.....	63
4.3.1.1.	Análisis de varianza para el contenido de proteína en la etapa de dosificación.....	64
4.3.2.	Plan de experimentación en la etapa de dosificación para el contenido de humedad.....	64

4.3.2.1.	Análisis de varianza para el contenido de humedad en la etapa de dosificación.....	65
4.4.	Evaluación sensorial para el cereal extruido.....	66
4.4.1.	Atributo color del cereal extruido.....	66
4.4.1.1.	Prueba estadística de Duncan para el atributo color del cereal extruido.....	67
4.4.2.	Atributo aspecto del cereal extruido.....	69
4.4.2.1.	Prueba estadística de Duncan para el atributo aspecto del cereal extruido.....	70
4.4.3.	Atributo textura del cereal extruido.....	73
4.4.3.1.	Prueba estadística de Duncan para el atributo textura del cereal extruido.....	73
4.4.4.	Atributo sabor del cereal extruido.....	76
4.4.4.1.	Prueba estadística de Fisher para el atributo sabor del cereal extruido.....	76
4.4.5.	Aceptación general del cereal extruido.....	77
4.4.5.1.	Prueba estadística de Fisher para aceptación general del cereal extruido.....	78
4.5.	Envasado del cereal extruido.....	79
4.5.1.	Control del índice de rancidez durante el almacenamiento.....	81
4.6.	Valor nutritivo del producto final.....	82
4.7.	Balance de materia para el cereal extruido.....	83
4.7.1.	Rendimiento en el proceso de extrusión.....	93
4.8.	Análisis microbiológico del producto final.....	93
CAPÍTULO V: Conclusiones y recomendaciones.....		95
5.1.	Conclusiones.....	96
5.2.	Recomendaciones.....	98
BIBLIOGRAFÍA.....		100
ANEXOS.		
Anexo A: Equipos y material de laboratorio.		
Anexo B: Metodología del diseño experimental 2 ^k .		
Anexo C: Evaluación sensorial.		
Anexo C.1: Atributo color.		
Anexo C.2: Atributo aspecto.		
Anexo C.3: Atributo textura.		
Anexo C.4: Atributo sabor.		
Anexo C.5: Aceptación general.		
Anexo D: Análisis fisicoquímicos y microbiológicos.		

Índice de Figuras

	Página
Figura 2.1 Tipos de extrusión.....	10
Figura 2.2 Esquema del extrusor.....	14
Figura 2.3 Esquema de la morfología del grano de maíz.....	22
Figura 3.1 Extrusor de un tornillo y sus partes.....	32
Figura 3.2 Diagrama del proceso de elaboración de cereal extruido a partir de harinas compuestas.....	42
Figura 3.3 Armado del tornillo del extrusor.....	43
Figura 3.4 Ajuste de la boquilla de salida.....	44
Figura 3.5 Armado del cabezal de corte del extrusor.....	44
Figura 3.6 Evaporación del agua del cereal obtenido.....	47
Figura 3.7 Residuos sólidos para limpiar.....	48
Figura 3.8 Limpieza de las partes del equipo.....	48
Figura 3.9 Preparación de las materias primas e insumos.....	52
Figura 3.10 Panel de degustación y evaluación sensorial.....	55
Figura 4.1 Pruebas de granulometría de la mezcla de harinas de maíz (cruda y precocida).....	58
Figura 4.2 Pruebas de granulometría de la torta de soya.....	59
Figura 4.3 Pruebas de granulometría de la harina de amaranto.....	60
Figura 4.4 Defecto producido en el cereal extruido por el envasado al vacío.....	80
Figura 4.5 Diagrama del flujo para el balance de materia del cereal extruido.....	84

Índice de Cuadros

	Página
Cuadro 3.1	Detalle de material de laboratorio..... 38
Cuadro 3.2	Detalle de utensilios auxiliares..... 39
Cuadro 3.3	Técnicas de análisis para la materia prima..... 41
Cuadro 3.4	Niveles de variación en la etapa de dosificación..... 50
Cuadro 3.5	Matriz del diseño factorial en la etapa de dosificación..... 51
Cuadro 3.6	Niveles de variación en la etapa de envasado..... 53
Cuadro 3.7	Matriz del diseño factorial en la etapa de envasado..... 53
Cuadro 3.8	Simbología de las muestras en el envasado para el cereal extruido..... 53
Cuadro 3.9	Técnicas de análisis para el cereal extruido..... 56
Cuadro 4.1	Granulometría de la mezcla de harinas de maíz..... 58
Cuadro 4.2	Granulometría de la torta de soya..... 59
Cuadro 4.3	Granulometría de la harina de amaranto..... 59
Cuadro 4.4	Composición fisicoquímica de la harina compuesta..... 61
Cuadro 4.5	Resultados de la variable respuesta para el contenido de proteína y humedad en el proceso de extrusión..... 63
Cuadro 4.6	Resultados del contenido de proteína para la etapa de dosificación..... 63
Cuadro 4.7	Resultados del contenido de humedad para la etapa de dosificación..... 65
Cuadro 4.8	Cuadro de comparación entre medias para el atributo color del cereal extruido..... 69
Cuadro 4.9	Cuadro de comparación entre medias para el atributo aspecto del cereal extruido..... 72
Cuadro 4.10	Cuadro de comparación entre medias para el atributo textura del cereal extruido..... 75
Cuadro 4.11	Índice de rancidez del cereal extruido durante el almacenamiento..... 81
Cuadro 4.12	Composición fisicoquímica del producto final..... 82
Cuadro 4.13	Requisitos de macro-nutrientes para cereales extruidos expandidos según norma colombiana..... 83
Cuadro 4.14	Análisis microbiológico del producto final..... 93
Cuadro 4.15	Ensayo de presencia de mohos y levaduras en el almacenamiento del producto final..... 94

Índice de Tablas

	Página
Tabla 2.1	Calidad de las proteínas de maíz y otros cereales..... 20
Tabla 2.2	Contenido de aminoácidos esenciales de las proteínas del germen y el endospermo..... 21
Tabla 2.3	Clasificación taxonómica del amaranto..... 24
Tabla 2.4	Composición aproximada del grano de amaranto y de algunos cereales..... 25
Tabla 2.5	Composición aproximada de las fracciones del grano de amaranto..... 25
Tabla 2.6	Composición química de la soya..... 26
Tabla 2.7	Especificaciones técnicas de la torta de soya..... 27
Tabla 4.1	Análisis de varianza para el contenido de proteína..... 64
Tabla 4.2	Análisis de varianza para el contenido de humedad..... 65
Tabla 4.3	Tabla de comparación entre medias para el atributo color del cereal extruido..... 68
Tabla 4.4	Tabla de comparación entre medias para el atributo aspecto del cereal extruido..... 71
Tabla 4.5	Tabla de comparación entre medias para el atributo textura del cereal extruido..... 74
Tabla 4.6	Tabla de análisis de varianza para el atributo sabor del cereal extruido..... 77
Tabla 4.7	Tabla de análisis de varianza para aceptación general del cereal extruido..... 78

Índice de Gráficos

	Página
Gráfico 4.1 Comparación de la granulometría de las materias primas.....	60
Gráfico 4.2 Resultados promedio para el atributo color del cereal extruido.....	66
Gráfico 4.3 Resultados promedio para el atributo aspecto del cereal extruido.....	70
Gráfico 4.4 Resultados promedio para el atributo textura del cereal extruido.....	73
Gráfico 4.5 Resultados promedio para el atributo sabor del cereal extruido.....	76
Gráfico 4.6 Resultados promedio para aceptación general del cereal extruido.....	77
Gráfico 4.7 Estabilización del producto envasado.....	79

