

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN MISAEL SARACHO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS Y TECNOLOGÍA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA QUÍMICA**



**OBTENCIÓN DE HARINA A PARTIR DEL ZAPALLO  
ENRIQUECIDA CON HARINA DE AMARANTO COMO  
SUPLEMENTO ALIMENTICIO**

Por:

**MARY LUZ COLQUE ACUÑA**

Proyecto de grado: (Modalidad, de graduación, Investigación Aplicada)  
presentado a consideración de la “UNIVERSIDAD AUTÓNOMA JUAN  
MISAEL SARACHO”, como requisito para optar el grado académico de  
Licenciatura en Ingeniería Química.

**Noviembre de 2016**

**TARIJA - BOLIVIA**

**VºBº**

Msc. Ing. Ernesto Álvarez Gozávez

**DECANO**

Facultad de Ciencias y tecnología

Msc. Ing. Silvana Paz Ramírez

**VICEDECANA**

Facultad de Ciencias y tecnología

**APROBADO POR:**

**TRIBUNAL:**

.....  
Ing. Jorge Tejerina O.

.....  
Ing. Jimena Duran D.

.....  
Ing. Juan Carlos Keri M.

**ADVERTENCIA**

El tribunal calificador del presente Trabajo, no se solidariza con la forma, términos, modos y expresiones vertidas en el mismo, siendo éstas responsabilidad del autor.

**DEDICATORIA**

Este Proyecto es una parte de mi vida y comienzo de otras etapas por esto y más, lo dedico a Dios, a mis padres Cirilo y Martha por su confianza, por su apoyo pero especialmente por brindarme sus palabras de aliento para llegar a culminar mi profesión.

A mis hermanas con quienes tuve el honor de compartir parte de mi vida, Lizeth y Natalia con amor y gratitud por su apoyo incondicional, y a quienes les deseo éxitos en su vida.

A mis amigos por compartir conmigo sus experiencias y enseñarme el verdadero valor de la amistad.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco profundamente a la Universidad Autónoma “Juan Misael Saracho”, institución a la cual se debe mi realización profesional.

A todo el personal del CEANID por su ayuda desinteresada.

A los miembros del tribunal, en especial al Ing. Jorge Tejerina O. por su apoyo desinteresado, por sus constantes consejos, por su paciencia, quien me ayudó a la conclusión del presente proyecto, al Ing. Juan Carlos Keri M. por su cooperación en la parte fundamental del presente proyecto.

Y a todas las personas y profesionales que de una u otra forma colaboraron en la realización del presente trabajo de investigación.

## **PENSAMIENTO**

Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber.

## CONTENIDO

	Páginas
DEDICATORIA .....	ii
ADVERTENCIA .....	i
DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTOS .....	iii
PENSAMIENTO .....	iv
RESUMEN.....	v
SIMBOLOGÍA.....	xxii

## INTRODUCCIÓN

ANTECEDENTES.....	1
OBJETIVOS .....	3
OBJETIVO GENERAL.....	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
JUSTIFICACIÓN .....	3

## CAPÍTULO I

### MARCO TEÓRICO

1.1 CARACTERIZACIÓN DE MATERIA PRIMA Y PRODUCTOS.....	5
1.1.1 ZAPALLO .....	5
1.1.1.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS .....	5
1.1.1.2 PRODUCCIÓN DE ZAPALLO EN BOLIVIA .....	5
1.1.1.3 PRODUCCIÓN DE ZAPALLO EN TARIJA .....	6
1.1.1.4 DESCRIPCIÓN Y PRÁCTICAS DE CULTIVO.....	7

1.1.1.5	CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA.....	7
1.1.1.6	DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DE LA PLANTA DE ZAPALLO.....	8
1.1.1.7	APORTES Y COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DEL ZAPALLO .....	10
1.1.1.8	BENEFICIOS Y USOS DEL ZAPALLO .....	11
1.1.2	AMARANTO.....	12
1.1.2.1	ANTECEDENTES HISTÓRICOS .....	12
1.1.2.2	AMARANTO EN BOLIVIA.....	14
1.1.2.3	AMARANTO EN TARIJA .....	17
1.1.2.4	CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA.....	18
1.1.2.5	ESTRUCTURA DEL GRANO .....	19
1.1.2.6	COMPOSICIÓN QUÍMICA Y VALOR NUTRITIVO DEL GRANO DE AMARANTO.....	19
1.1.2.7	EFFECTOS MEDICINALES Y USO DEL AMARANTO .....	22
1.1.2.8	VALOR CUANTITATIVO DE LA PROTEÍNA DEL AMARANTO.....	23
1.1.2.9	POTENCIAL ALIMENTARIO DEL AMARANTO.....	27
1.2	HARINAS.....	28
1.2.1	CONTROL DE CALIDAD DE HARINAS .....	29
1.2.2	MÉTODOS PARA CUANTIFICAR AMINOÁCIDOS .....	30
1.2.3	TIPOS DE HARINAS .....	33
1.2.3.1	HARINA DE AMARANTO.....	34
1.2.3.2	HARINA DE ZAPALLO.....	35
1.2.4	SUPLEMENTO Y COMPLEMENTO DE OTRAS HARINAS.....	36
1.2.4.1	MEZCLAS VEGETALES DEL AMARANTO .....	37
1.2.5	GLUTEN.....	37



1.3 PROCESO TECNOLÓGICO DE PRODUCCIÓN DE HARINA.....	38
1.3.1 RECEPCIÓN E INSPECCIÓN DE MATERIA PRIMA .....	39
1.3.2 LIMPIEZA.....	39
1.3.3 ACONDICIONAMIENTO.....	40
1.3.4 SECADO.....	41
1.3.4.1 CLASIFICACIÓN DE LOS SECADORES .....	42
1.3.4.2 CURVAS DE SECADO.....	46
1.3.4.3 FACTORES QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE SECADO.....	49
1.3.5 MOLIENDA .....	53
1.3.5.1 EQUIPOS PARA MOLIENDA.....	54
1.3.5.2 ELEMENTOS IMPORTANTES EN LA MOLIENDA.....	56
1.3.6 TAMIZADO .....	57
1.3.7 ADICIÓN DE ADITIVOS.....	57
1.3.8 ENVASADO.....	58
1.3.9 ALMACENAMIENTO .....	58
1.4 ESTUDIOS PREVIOS PARA LA OBTENCIÓN DE HARINA DE ZAPALLO Y AMARANTO.....	59
1.4.1 ESTUDIOS PREVIOS PARA LA ELABORACIÓN DE HARINA DE ZAPALLO .....	59
1.4.1.1 OBSERVACIONES DE TEMPERATURA PARA EL PROCESO DE OBTENCIÓN DE HARINA DE ZAPALLO .....	63
1.4.1.2 CURVAS DE SECADO PARA ZAPALLO .....	64
1.4.1.3 CARACTERÍSTICAS DE TAMIZADO.....	65
1.4.2 ESTUDIOS PREVIOS PARA LA ELABORACIÓN DE HARINA DE AMARANTO.....	66

## CAPÍTULO II

### METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

2.1 INTRODUCCIÓN .....	70
2.2 DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE MATERIA PRIMAS .....	70
2.2.1 ZAPALLO .....	70
2.2.1.1 RECOLECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA (ZAPALLO) .....	70
2.2.1.2 ACONDICIONAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA .....	71
2.2.2 AMARANTO.....	72
2.2.2.1 RECOLECCIÓN DE LA MATERIA PRIMA (AMARANTO) .....	72
2.2.2.2 ACONDICIONAMIENTO DE LA MATERIA PRIMA (AMARANTO) ....	72
2.2.3 ESTUDIO MORFOLÓGICO EN EL ZAPALLO Y DE LA ESTRUCTURA DEL FRUTO EN EL AMARANTO .....	72
2.3 DISEÑO EXPERIMENTAL .....	75
2.3.1 PLANTEAMIENTO DE LA HIPÓTESIS .....	75
2.3.2 CONCEPTUALIZACIÓN DE LAS VARIABLES DE SECADO .....	77
2.4 SELECCIÓN DEL SECADOR Y MOLINO EN EL DESARROLLO DEL PROCESO EXPERIMENTAL.....	77
2.5 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO EXPERIMENTAL DE OBTENCIÓN DE HARINA A PARTIR DE ZAPALLO ENRIQUECIDA CON HARINA DE AMARANTO.....	82
2.5.1 ZAPALLO .....	87
2.5.1.1 RECEPCIÓN .....	87
2.5.1.2 SELECCIÓN.....	87
2.5.1.3 LIMPIEZA .....	87

2.5.1.4 PRE-CORTADO.....	88
2.5.1.5 PELADO-DESSEMILLADO.....	89
2.5.1.6 LAVADO.....	90
2.5.1.7 CORTADO EN RODAJAS.....	91
2.5.1.8 SUMERGIR EN SOLUCIÓN DE ÁCIDO CÍTRICO.....	92
2.5.1.9 SECADO.....	94
2.5.1.10 MOLIENDA.....	105
2.5.1.11 TAMIZADO.....	106
2.5.2 AMARANTO.....	108
2.5.2.1 RECEPCIÓN.....	108
2.5.2.2 LIMPIEZA.....	108
2.5.2.3 MOLIENDA.....	109
2.5.2.4 TAMIZADO.....	109
2.5.3 HARINA COMPUESTA.....	110
2.5.3.1 MEZCLADO.....	115
2.5.3.2 ENVASADO.....	116
2.5.3.3 ALMACENAMIENTO.....	116
2.7 METODOLOGÍA UTILIZADA PARA LLEGAR AL RESULTADO	
ESPERADO DE LA INVESTIGACIÓN.....	117
2.7.1 CARACTERÍSTICAS EXTERNAS E INTERNAS DE LA MATERIA PRIMA “ZAPALLO”.....	118
2.7.2 CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LA MATERIA PRIMA “ZAPALLO”.....	118
2.7.3 EVALUACIÓN SENSORIAL PARA DEFINIR LA HARINA DE ZAPALLO QUE MEJORES ATRIBUTOS PRESENTEN AL COMBINARSE CON HARINA DE AMARANTO.....	118

2.7.4 DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE LA MATERIA PRIMA ZAPALLO (FRESCO), HARINA DE ZAPALLO, AMARANTO Y COMPUESTA. ....	119
2.7.5 ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DE LA HARINA DE ZAPALLO Y HARINA COMPUESTA.....	120
2.7.6 CUANTIFICACIÓN DE AMINOÁCIDO LISINA PRESENTE EN LAS HARINAS DE: ZAPALLO, AMARANTO Y COMPUESTA.....	120
2.7.7 EVALUACIÓN SENSORIAL DE LAS PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS DEL PRODUCTO FINAL.....	120

### **CAPÍTULO III**

#### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

3.1 RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LA PARTE EXPERIMENTAL .....	121
3.2 ESTUDIO MORFOLÓGICO EN EL ZAPALLO Y DE LA ESTRUCTURA DEL FRUTO EN EL AMARANTO .....	121
3.3 CARACTERIZACIÓN DE LA MATERIA PRIMA “ZAPALLO”.....	124
3.3.1 CARACTERÍSTICAS EXTERNAS E INTERNAS .....	124
3.3.2 CARÁCTERÍSTICAS FÍSICAS .....	125
3.4 SECADO.....	126
3.4.1 OBSERVACIONES EN LA PRUEBA DE SECADO.....	132
3.4.2 HUMEDAD DEL ZAPALLO .....	134
3.4.3 CONTENIDO DE HUMEDAD EN BASE SECA.....	137
3.4.4 AGUA EVAPORADA DURANTE EL SECADO DEL ZAPALLO .....	141
3.4.5 DETERMINACIÓN DE CINÉTICA DE SECADO .....	144

3.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL DISEÑO EXPERIMENTAL.....	145
3.6 EVALUACIÓN SENSORIAL PARA DEFINIR LA HARINA DE ZAPALLO ENRIQUECIDA CON HARINA DE AMARANTO.....	149
3.6.1 ANÁLISIS DE VARIANZA UNIVARIANTE.....	155
3.7 MOLIENDA .....	158
3.8 TAMIZADO .....	158
3.9 RENDIMIENTO DE OBTENCIÓN DE HARINA.....	160
3.10 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS FISCOQUÍMICOS .....	161
3.11 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS MICROBIOLÓGICOS .....	165
3.12 RESULTADO DE ANÁLISIS DE AMINOÁCIDO (LISINA).....	166
3.13 RESULTADO DEL ANÁLISIS ORGANOLÉPTICO FINAL.....	166

## **CAPÍTULO IV**

### **PROYECTO DE GRADO**

4.1 BALANCE DE MATERIA Y ENERGÍA.....	169
4.1.1 BALANCE DE MATERIA - ENERGIA A TEMPERATURA DE 60°C Y UN ESPESOR DE 1.5mm.....	171
4.1.3 BALANCE DE MATERIA - ENERGÍA A TEMPERATURA DE 70°C Y UN ESPESOR DE 3mm.....	195
4.1.4 BALANCE DE MATERIA - ENERGÍA A TEMPERATURA DE 60°C Y UN ESPESOR DE 3mm.....	203
4.2 CÁLCULOS PARA ENCONTRAR LA CINÉTICA DE SECADO .....	213
4.2.1 CINÉTICA DE SECADO A TEMPERATURA DE 60°C-ESPESOR 1,5mm.....	215
4.2.2 CINÉTICA DE SECADO A TEMPERATURA 60°C - ESPESOR 3mm.....	225
4.2.3 CINÉTICA DE SECADO A TEMPERATURA 70°C - ESPESOR 1,5mm.....	234

4.2.4 CINÉTICA DE SECADO A TEMPERATURA 70°C- ESPESOR 3mm.....	241
---	-----

## **CAPÍTULO V**

### **COSTO DEL PROYECTO**

5.1.- ESTIMACION DE COSTOS .....	251
----------------------------------	-----

## **CAPÍTULO VI**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

6.1 CONCLUSIONES .....	254
6.2 RECOMENDACIONES .....	258
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS .....	260

## **ANEXOS**

ANEXO A.....	263
PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS Y MICROBIOLÓGICAS DE LA MATERIA PRIMA Y PRODUCTO.....	263
ANEXO B .....	264
DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS Y MATERIALES UTILIZADOS.....	264
ANEXO C .....	277
DIAGRAMA PSICOMÉTRICO Y PROPIEDADES DEL AGUA SATURADA ..	277
ANEXO D.....	280
TEST DE ACEPTABILIDAD PARA DEFINIR LA HARINA DE ZAPALLO ENRIQUECIDA CON HARINA DE AMARANTO.....	280
ANEXO E .....	283
RESULTADO DE LAS ENCUESTAS Y DEL TEST DE ACEPTABILIDAD .....	283

ANEXO F .....	284
MÉTODO DE ANÁLISIS DE AMINOÁCIDO (LISINA).....	284
ANEXO G.....	291
ANÁLISIS DE AMINOÁCIDO (LISINA) Y PROTEÍNA DIGERIBLE PRESENTE EN LA HARINA COMPUESTA .....	291
ANEXO H.....	297
TEST DE ACEPTABILIDAD EN EL PRODUCTO FINAL .....	297
ANEXO I .....	300
RESULTADO DE LAS ENCUESTAS DE TEST DE ACEPTABILIDAD PARA EL PPRODUCTO FINAL .....	300
ANEXO J .....	301
FOTOGRAFÍAS .....	301

### ÍNDICE DE TABLA

Tabla i Datos de producción y demanda de zapallo en el departamento de Tarija.....	4
Tabla I- 1 Superficie, producción, rendimiento promedio y demanda en Bolivia.....	6
Tabla I-2 Clasificación taxonómica del zapallo criollo .....	7
Tabla I- 3 Valor nutricional que presentan los tres tipos de maduración de zapallo ..	11
Tabla I- 4 Beneficios que ofrece el zapallo.....	12
Tabla I- 5 Nombres que recibe el amaranto según su procedencia.....	14
Tabla I- 6 Departamentos productores de amaranto en Bolivia.....	15
Tabla I- 7 Principales mercados del Amaranto .....	16
Tabla I- 8 Composición del grano amaranto Caudathus de diferente procedencia. ...	18
Tabla I- 9 Taxonomía del amaranto.....	18

Tabla I- 10 Composición nutricional del amaranto .....	22
Tabla I- 11 Contenido y cómputo de aminoácidos de la proteína de amaranto.....	25
Tabla I- 12 Estimación de las necesidades de aminoácidos.....	27
Tabla I- 13 Clasificación de la harina según su contenido de ceniza .....	29
Tabla I- 14 Métodos de cuantificación de aminoácidos y sus limitaciones.....	61
Tabla I- 15 Tipos de molinos de acuerdo al tamaño del producto final.....	54
Tabla I- 16 Resultados de análisis de harina de zapallo .....	60
Tabla I- 17 Resultados de análisis de harina de zapallo .....	62
Tabla I- 18 Observaciones de la calidad de harina a diferentes temperaturas .....	63
Tabla I- 19 Comparación de resultados de análisis de harina de amaranto .....	69
Tabla II- 1 Niveles de las variables de secado de zapallo.....	76
Tabla II- 2 Matriz de diseño.....	76
Tabla II- 3 Características sobre el funcionamiento de los molinos .....	78
Tabla II- 4 Características, ventajas y desventajas de funcionamiento de secadores	79
Tabla II- 5 Datos experimentales de la temperatura de bulbo seco-temperatura de bulbo húmedo del aire.....	95
Tabla II- 6 Datos de pérdida de peso a diferentes temperaturas .....	99
Tabla II- 7 Pérdida de peso en el secado de las rodajas de zapallo a temperaturas de 60°C y 70°C, espesor de 3 mm.....	101
Tabla II- 8 Tamizado de la harina de amaranto .....	109
Tabla II- 9 Datos bibliográficos para determinar la mezcla adecuada de harinas mediante un balance de materia en función de su proteína digerible .....	111
Tabla II- 10 Muestras de harina de zapallo y amaranto.....	119
Tabla II- 11 Propiedades fisicoquímicas en la harina: zapallo, amaranto y compuesta	



.....	119
Tabla II- 12 Propiedades microbiológicas en la harina de zapallo y en la harina compuesta.....	120
Tabla III- 1 Características externas de los tres tipos de zapallo .....	124
Tabla III- 2 Características internas de los tres tipos de zapallo.....	125
Tabla III- 3 Características físicas del zapallo “cucúrbita máxima”.....	126
Tabla III- 4 Promedio de pérdida de peso en el secado de zapallo .....	127
Tabla III- 5 Porcentaje de humedad del zapallo .....	135
Tabla III- 6 Valores de peso inicial, peso final, humedad inicial y humedad final a diferentes espesores con temperaturas de 60 y 70°C .....	137
Tabla III- 7 Contenido de humedad en base seca .....	139
Tabla III- 8 Agua evaporada en el secado de zapallo .....	142
Tabla III- 9 Datos e tiempo de secado .....	144
Tabla III- 10 Resultados obtenidos de la variable respuesta del diseño .....	146
Tabla III- 11 Prueba de efectos inter- sujetos .....	147
Tabla III- 12 Variables introducidas/eliminadas.....	148
Tabla III- 13 Anova.....	148
Tabla III- 14 Coeficientes Análisis de varianza de la variable contenido de humedad .....	148
Tabla III- 15 Escala hedónica para la evaluación sensorial de los atributos.....	150
Tabla III- 16 Resultado del análisis organoléptico de la muestra N°1 según la escala hedónica .....	151
Tabla III- 17 Resultado del análisis organoléptico de la muestra N°2 según la escala	

hedónica .....	152
Tabla III- 18 Resultado del análisis organoléptico de la muestra N°3 según la escala hedónica .....	153
Tabla III- 19 Resultado del análisis organoléptico de la muestra N°4 según la escala hedónica .....	154
Tabla III- 20 Prueba de los efectos inter-sujetos.....	156
Tabla III- 21 Comparaciones múltiples .....	157
Tabla III- 22 Resultado de tamizado de la harina de zapallo.....	159
Tabla III- 23 Rendimiento del proceso de obtención de harina de zapallo.....	161
Tabla III- 24 Composición fisicoquímica de la materia prima zapallo “fresco” .....	162
Tabla III- 25 Composición fisicoquímica de la Harina de zapallo .....	163
Tabla III- 26 Composición fisicoquímica de la harina de zapallo .....	164
Tabla III- 27 Composición microbiológica en la harina de zapallo.....	165
Tabla III- 28 Composición microbiológica en la harina de zapallo enriquecida con harina de amaranto .....	165
Tabla III- 29 Resultado del test de aceptabilidad realizado al producto final.....	167
Tabla IV- 1 Datos de las propiedades del aire para temperaturas y espesores diferentes.....	177
Tabla IV- 2 Porcentaje y peso presente de harina de zapallo en cada número de malla .....	181
Tabla IV- 3 Datos de entalpia de entrada y salida en la sección de secado .....	185
Tabla IV- 4 Porcentaje y peso presente de harina de zapallo en cada número de malla .....	190
Tabla IV- 5 Porcentaje y peso presente de harina de zapallo en cada número de malla .....	198

Tabla IV- 6 Porcentaje y peso presente de harina de zapallo en cada número de malla .....	205
Tabla IV- 7 Resumen del balance de materia para las diferentes temperaturas y espesores .....	211
Tabla IV- 8 Resumen del balance de energía .....	212
Tabla IV- 9 Datos de contenido de humedad a $t=60^{\circ}\text{C}$ y 1,5mm .....	215
Tabla IV- 10 Datos de velocidad de secado.....	218
Tabla IV- 11 Datos de contenido de humedad a $t=60^{\circ}\text{C}$ y 1,5mm .....	225
Tabla IV- 12 Datos de velocidad de secado.....	228
Tabla IV- 13 Datos de contenido de humedad a $t=70^{\circ}\text{C}$ y 1,5mm .....	234
Tabla IV- 14 Datos de velocidad de secado.....	236
Tabla IV- 15 Datos de contenido de humedad a $t=70^{\circ}\text{C}$ y 3mm .....	242
Tabla IV- 16 Datos de velocidad de secado.....	245
Tabla B- 1 Especificaciones del secador de bandejas.....	266
Tabla B- 2 Especificaciones del termo-anemómetro .....	267
Tabla B- 3 Especificaciones de la balanza.....	268
Tabla B- 4 Especificaciones técnicas del molino eléctrico de martillos.....	269
Tabla B- 5 Equivalencias serie de tamices U.....	271
Tabla B- 6 Especificaciones del tamiz vibratorio .....	272
Tabla B- 7 Material de laboratorio.....	275
Tabla B- 8 Utensilios de cocina .....	276
Tabla F- 1 Lecturas de % transmitancia y absorbancia para armar la curva de calibración de lisina.....	288

Tabla G- 1 Dato bibliográfico proteína digerible-dato experimental de proteína bruta .....	292
Tabla G- 2 Lecturas de absorbancia y % transmitancia en la harina de amaranto hidrolizada.....	294
Tabla G- 3 Lecturas de absorbancia y % transmitancia en la harina compuesta hidrolizada.....	295

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura I- 1 Zapallos criollos (cucúrbita máxima) .....	7
Figura I- 2 Flores femeninas y masculinas de cucúrbita máxima.....	9
Figura I- 3 Partes del zapallo .....	9
Figura I- 4 Planta de Amaranto cruentus .....	14
Figura I- 5 Corte longitudinal del grano de amaranto.....	19
Figura I- 6 Valor comparativo del amaranto con otros cereales .....	24
Figura I- 7 Contenido de lisina en el amaranto en comparación a otros cereales.....	26
Figura I- 8 Molienda de granos de amaranto crudo .....	35
Figura I- 9 Harina de zapallo .....	36
Figura I- 10 Secador de bandejas .....	44
Figura I- 11 Contenido de humedad en función del tiempo .....	47
Figura I- 12 Velocidad de secado en función de la humedad .....	47
Figura I- 13 Velocidad de secado en función del tiempo .....	47
Figura I- 14 Molinos de gruesos a rodillos .....	55
Figura I- 15 Molinos de martillos .....	55
Figura I- 16 Tiempo de secado respecto a la humedad libre de la muestra de zapallo	

.....	64
Figura I- 17 Humedad libre del zapallo vs velocidad de secado .....	65
Figura II- 1 Pérdida de peso de las rodajas de zapallo de espesor 1.5mm.....	100
Figura II- 2 Pérdida de peso de las rodajas de zapallo a temperatura de 60°C y 70°C con espesores de 3mm.....	102
Figura II- 3 Pérdida de peso de las rodajas de zapallo a temperatura de 60°C y diferentes espesores.....	103
Figura II- 4 Pérdida de peso de las rodajas de zapallo a Temperatura 70°C y.....	104
Figura III- 1 Pérdida de peso del zapallo a 60°C y diferentes espesores .....	128
Figura III- 2 Pérdida de peso del zapallo a 70°C y a diferentes espesores.....	130
Figura III- 3 Porcentaje de humedad durante el secado del zapallo .....	136
Figura III- 4 Curva de humedad en base seca a diferentes Espesores y temperatura	140
Figura III- 5 Agua evaporada del zapallo .....	143
Figura III- 6 Resultados del análisis sensorial de la harina de zapallo enriquecida con harina de amaranto .....	155
Figura III- 7 Porcentaje acumulado en el tamizado .....	160
Figura III- 8 Resultado del análisis organoléptico realizado al producto aplicado final .....	168
Figura IV- 1 Balance de materia en el proceso de pelado-desemillado.....	171
Figura IV- 2 Balance de materia en el proceso de lavado de la pulpa.....	173
Figura IV- 3 Balance de materia en el proceso de cortado de la pulpa.....	174
Figura IV- 4 Balance de materia en el proceso de tratamiento con solución.....	176

Figura IV- 5 Balance de materia en el proceso de secado de las rodajas .....	178
Figura IV- 6 Balance de materia en el proceso de molienda de las rodajas Deshidratadas de zapallo.....	180
Figura IV- 7 Balance de materia en el proceso de Tamizado de la harina .....	182
Figura IV- 8 Balance de materia en el proceso de mezclado de harina .....	184
Figura IV- 9 Balance de energía en el proceso de secado para.....	186
Figura IV- 10 Diagrama de flujo general tomado en cuenta para el balance de materia y energía.....	210
Figura IV -11 Contenido de humedad en función del tiempo.....	216
Figura IV- 12 Velocidad de secado en función del contenido de humedad en base seca.....	219
Figura IV- 13 Velocidad de secado en función del tiempo.....	220
Figura IV- 14 Contenido de humedad en función del tiempo.....	226
Figura IV- 15 Velocidad de secado en función del contenido de humedad en base seca.....	229
Figura IV- 16 Velocidad de secado en función del tiempo.....	230
Figura IV -17 Contenido de humedad en función del tiempo.....	235
Figura IV -18 Velocidad de secado en función del contenido de humedad en base seca.....	237
Figura IV -19 Velocidad de secado en función del tiempo.....	238
Figura IV -20 Contenido de humedad en función del tiempo.....	243
Figura IV- 21 Velocidad de secado en función del contenido de humedad en base seca.....	246
Figura IV- 22 Velocidad de secado en función del tiempo.....	247

Figura C- 1 Diagrama psicométrico (presión atmosférica 610,05 mm Hg).....	278
Figura C- 2 Propiedades de vapor de agua saturada .....	279
Figura F- 1 Curva de calibración de lisina.....	289

## ÍNDICE DE FOTOS

Foto II- 1 Recolección de zapallo .....	71
Foto II- 2 Zapallo criollo acondicionado .....	71
Foto II- 3 Recolección del amaranto.....	72
Foto II- 4 Rasgado del mesocarpio con aguja histológica .....	73
Foto II- 5 Muestra en portaobjeto .....	74
Foto II- 6 Microscopio con cámara incorporada.....	74
Foto II- 7 Zapallo criollo de especie cucúrbita máxima recepcionado .....	87
Foto II- 8 Limpieza del epicarpio del zapallo criollo.....	88
Foto II- 9 Corte del zapallo criollo por la mitad .....	88
Foto II- 10 Pre-cortado del zapallo criollo.....	89
Foto II- 11 Eliminación del endocarpio del zapallo criollo .....	89
Foto II- 12 Semillas presentes en el endocarpio del zapallo.....	90
Foto II- 13 Lavado de la pulpa de zapallo pre-cortada .....	90
Foto II- 14 Escurrimiento de agua de la pulpa pre-cortada de zapallo .....	91
Foto II- 15 Cuchilla de paso regulable.....	91
Foto II- 16 Rodajas de pulpa de zapallo .....	92
Foto II- 17 Ácido cítrico inhibidor enzimático .....	92
Foto II- 18 Rodajas de zapallo sumergidas en solución de ácido cítrico.....	93

Foto II- 19 Rodajas de zapallo escurridas después del tratamiento con ácido cítrico	93
Foto II- 20 Muestras de rodajas de zapallo en las bandejas.....	95
Foto II- 21 Bandejas con muestra de zapallo dentro del secador.....	96
Foto II- 22 Muestras secas de zapallo en las bandejas.....	96
Foto II- 23 Muestra seca de zapallo a diferentes condiciones .....	97
Foto II- 24 Acondicionamiento de la muestra seca previo a su enfriamiento.....	97
Foto II- 25 Enfriamiento de la muestra seca de zapallo.....	98
Foto II- 26 Pre-molienda de rodajas de zapallo .....	105
Foto II- 27 Molienda de las rodajas de zapallo .....	106
Foto II- 28 Tamizado de la harina de zapallo .....	107
Foto II- 29 Clasificación granulométrica de la harina de.....	107
Foto II- 30 Envasado de la harina de zapallo.....	108
Foto II- 31 Granos de amaranto libres de impurezas .....	109
Foto II- 32 Empaques de harina de zapallo-harina de amaranto.....	115
Foto II- 33 Producto final de la harina compuesta.....	117
Foto III- 1 Tejido Parenquimático del mesocarpio del zapallo.....	121
Foto III- 2 Dos células unidas presentes en el mesocarpio del zapallo.....	122
Foto III- 3 Células presentes en el tejido parenquimático del mesocarpio del zapallo .....	122
Foto III- 4 Granos de amaranto.....	123
Foto III- 5 Separación de la semilla del fruto del amaranto.....	123
Foto III- 6 Muestra de zapallo previo al secado.....	132
Foto III- 7 Muestra de zapallo después del secado .....	133



Foto B- 1 Secador de bandejas.....	265
Foto B- 2 Termo-Anemómetro .....	266
Foto B- 3 Desecador .....	267
Foto B- 4 Balanza .....	268
Foto B- 5 Molino de martillos.....	269
Foto B- 6 Termómetros adaptados a un psicómetro .....	270
Foto B- 7 Tamiz vibratorio .....	272
Foto B- 8 Refractómetro .....	273
Foto B- 9 Molino de piedra.....	274
Foto J- 1 Presentación de las muestras a ser degustadas.....	302
Foto J- 2 Degustación y calificación por los jueces.....	302
Foto J- 3 Determinación de lisina .....	303
Foto J- 4 Espectrofotómetro.....	303
Foto J- 5 Centrifuga “Centurión scientific” .....	304
Foto J- 6 Esquema del equipo para la hidrolisis acida con reflujo .....	304
Foto J- 7 Harina hidrolizada.....	305
Foto J- 8 La hidrolisis de harina clarificada.....	305
Foto J- 9 Preparación del queque previo a la cocción.....	306
Foto J- 10 Queques después de la cocción.....	306
Foto J- 11 Presentación de los queques elaborados a base de harina de zapallo enriquecido con harina de amaranto .....	307
Foto J- 12 Degustación del queque para calificar los atributos .....	307

**INDICE DE DIAGRAMAS**

Diagrama I- 1 Proceso tecnológico de obtención de harina.....	38
Diagrama I- 2 Diagrama de bloques de la primera metodología de elaboración de harina de zapallo .....	59
Diagrama I- 3 Diagrama de bloques de la segunda metodología de elaboración de harina de zapallo .....	61
Diagrama I- 4 Diagrama de proceso para obtener harina de amaranto.....	66
Diagrama II- 1 Diagrama de flujo del proceso de obtención de harina a partir del zapallo enriquecida con harina de amaranto .....	83
Diagrama II- 2 Diagrama de bloques para la elaboración de harina a partir de zapallo enriquecida con harina de amaranto.....	86

## SIMBOLOGIA

A	Área	[cm <sup>2</sup> ]
cm	Unidad de longitud	[cm]
Cal	Calorías-unidad de energía	[Cal]
E	Espesor	[mm]
G	Caudal de aire	[Kg/s]
g	Unidad de masa	[g]
H	Entalpia	[kg/kcal]
H <sub>1</sub>	Entalpia de entrada	[kg/kcal]
H <sub>2</sub>	Entalpia de salida	[kg/kcal]
HR	Humedad relativa	[%]
Ha	Hectárea	[Ha]
h	Unidad de tiempo-hora	[h]
h	Intervalo de tiempo	[h]
Kcal	Kilocalorías	[Kcal]
kg	Kilogramos	[kg]
kW	Kilowatts	[°C]
k	Constante para la cinética	[°C]
m	Masa	[kg]
mm	Milímetros	[mm]
mg	Miligramos	[mg]
mi	Masa inicial de zapallo	[g]
mj	Masa del zapallo durante cada 15 minutos	[g]
min	Minutos	[min]
n	Número de orden de la cinética	[s]
P	Presión- milímetros de mercurio	[mm Hg]
Po	Potencia	[KW]
Q	Calor	[kWh]
Rpm	Revoluciones por minuto	[RPM]

SS	Solido seco	[g]
T	Temperatura	[°C]
TM	Toneladas métricas	[TM]
t	Tiempo	[h]
t <sub>bs</sub>	Temperatura de bulbo seco	[°C]
t <sub>bh</sub>	Temperatura de bulbo húmedo	[°C]
t <sub>i</sub>	Tiempo inicial	[h]
t <sub>c</sub>	Tiempo crítico	[h]
ufc/g	Unidades formadas de colonias	[ucf/g]
w	Velocidad de secado	[kg/m <sup>2</sup> *h]
w <sub>c</sub>	Velocidad en el periodo antecrítico	[kg/m <sup>2</sup> *h]
w <sub>D</sub>	Velocidad decreciente	[kg/m <sup>2</sup> *h]
W <sub>p</sub>	Velocidad promedio	[kg/m <sup>2</sup> *h]
X	Humedad	[kg agua/kg solido seco]
X <sub>i</sub>	Humedad en base seca inicial	[kg agua/kg solido seco]
X <sub>c</sub>	Humedad en base critica	[kg agua/kg solido seco °C]
X <sub>eq</sub>	Humedad de equilibrio	[°C]
X <sub>bh</sub>	Contenido de humedad en base húmeda	[°C]
X <sub>bs</sub>	Contenido de humedad en base seca	[°C]
Y	Contenido de humedad	[kg vapor/kg aire seco]
θ	Tiempo de secado	[h]
θ <sub>a</sub>	Tiempo de secado antecrítico	[h]
θ <sub>p</sub>	Tiempo de secado poscrítico	[h]
θ <sub>t</sub>	Tiempo total de secado	[h]
Δθ	Variación de la humedad	[kg agua/kg ss]
ΔX	Variación del tiempo de secado	[min]