



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS BIOLÓGICAS



**“OBTENCIÓN DE HARINAS DE CEREALES Y LEGUMINOSAS
PRECOCIDAS Y SU APLICACIÓN EN ALIMENTOS
PARA EL ADULTO MAYOR”**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN CIENCIAS EN ALIMENTOS**

PRESENTA:

I.AI. JOSÉ EVANDRO BRIONES BERMÚDEZ

DIRECTORES:

**M.C. YOJA TERESA GALLARDO NAVARRO
Dra. ROSA MARTHA PÉREZ GUTIÉRREZ**

México, D.F. Octubre 2011



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México siendo las 11:00 horas del día 14 del mes de Octubre del 2011 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de La E. N. C. B. para examinar la tesis titulada:
Obtención de harinas de cereales y leguminosas precocidas por extrusión y su aplicación en alimentos para el adulto mayor

Briones
Apellido paterno

Bermúdez
Apellido materno

José Evandro
Nombre(s)

Con registro:

B	0	9	1	0	6	4
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante de:
Maestría en Ciencias en Alimentos

Después de intercambiar opiniones los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Directores de tesis

Dra. Rosa Martha Pérez Gutiérrez

M en C Yoja Teresa Gallardo Navarro

Dr. Ramón Juan Arana Errasquin

M en C María Teresa Cruz y Victoria

M en C Laura Isabel Almazán Rodríguez

Dra. Ma. del Socorro López Cortez

PRESIDENTE DEL COLEGIO DE PROFESORES



Dr. Manuel Jesús Piñón López

SEP
Escuela Nacional de
Ciencias Biológicas
Sección de Estudios
de Posgrado
e Investigación



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de México, D.F., el día 14 del mes de octubre del año 2011, el (la) que suscribe José Evandro Briones Bermúdez alumno (a) del Programa de Maestría en Ciencias en Alimentos con número de registro B091064, adscrito a la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas del Instituto Politécnico Nacional, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de la M en C. Yoja Teresa Gallardo Navarro y Dra. Rosa Martha Pérez Gutiérrez ceden los derechos del trabajo intitulado OBTENCIÓN DE HARINAS DE CEREALES Y LEGUMINOSAS PRECOCIDAS Y SU APLICACIÓN EN ALIMENTOS PARA EL ADULTO MAYOR, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección: yglard@encb.ipn.mx, si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

José Evandro Briones Bermúdez
Nombre y firma alumno (a)

Vo. Bo
Directores de Tesis:

M en C. Yoja Teresa Gallardo Navarro

Dra. Rosa Martha Pérez Gutiérrez

El proyecto de investigación fue realizado en el laboratorio de **Tecnología de Alimentos** perteneciente al Departamento de Graduados en Alimentos, de la Escuela Nacional de Ciencias Biológicas (ENCB) del Instituto Politécnico Nacional (IPN).

Durante el desarrollo de la tesis, se tuvo el apoyo financiero del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), con número de becario 232485. También se contó con el apoyo del Programa Institucional de Formación de Investigadores dependiente de la Secretaría de Investigación y Posgrado del IPN, a través de los proyectos SIP: 20090514, 20100049 y 20110430.

DEDICATORIAS

A Dios.

Porque siempre ha estado conmigo y me brindó las fuerzas necesarias para culminar este trabajo, dándome así la oportunidad de continuar con mi preparación académica.

A mis padres.

Rosa Bermúdez Gómez e Isidro Briones Calderón, con todo mi amor y admiración, porque este logro no hubiera sido posible sin su apoyo, desvelos y sacrificios, esperando su esfuerzo no haya sido en vano y vean en mí la realización de su sueño. Gracias por darme la oportunidad que ellos nunca tuvieron.

A mis hermanos.

Avenamar, Gloria Odalis y Rubiel Alejandro, porque a pesar de la distancia pude contar con su cariño incondicional y apoyo en todo momento de cada uno de ustedes.

A la familia Cabrera Soto.

Como una muestra de mi cariño y agradecimiento por todo el apoyo incondicional que me han brindado en esta etapa, lejos de mi familia. Les agradezco la orientación que siempre me han otorgado, haciéndome sentir como un miembro más de su maravillosa familia.

A Maria Luisa.

Por compartir esta meta a mi lado, soportando mi mal humor en algunos momentos, por tu apoyo siempre incondicional y por estar a mi lado cuando más lo he necesitado, gracias por los maravillosos momentos.

AGRADECIMIENTOS

No es fácil llegar al final, se necesita luchar, valor, esfuerzo y deseo, pero sobre todo, la fuerza que me ha ayudado a conseguirlo ha sido el apoyo recibido de muchas personas. Para ellas van estas palabras de agradecimiento, perdón si omito el nombre de alguien.

A la M.C. Yoja Teresa Gallardo Navarro, por haber provisto todo lo necesario para la realización de este trabajo, por la ayuda prestada en la revisión del trabajo final y por darme la oportunidad de mejorar en el ámbito profesional.

A la Dra. Rosa Martha Pérez Gutiérrez, M.C. María Teresa Cruz y Victoria, Dra. María del Socorro López Cortez y Dr. Ramón Juan Arana Errasquín, por el tiempo invertido en la revisión del trabajo final y las observaciones realizadas al mismo, con el afán de mejorarlo.

A la M.C. Laura Isabel Almazán Rodríguez, por apoyarme con el uso de equipos de su laboratorio y por el tiempo valioso que dedicó a la mejora de este proyecto. Muchas gracias!

A todos mis profesores, por sus consejos, por su tolerancia, por brindarme su amistad y por compartir sus conocimientos conmigo.

A Aída López, por su amistad, por su apoyo y por todas las facilidades brindadas en los trámites administrativos.

A todos mis compañeros, que por el espacio y temor de omitir algún nombre, no menciono a cada uno de ellos; porque al pasar los años, tal vez no recordaré muy bien lo que aprendí en clases, pero siempre tendré muy presente todo aquello que viví con ustedes, con quienes estudié, me desesperé, grité, festejé.....en fin, con quienes compartí maravillosos momentos. Gracias por haber fomentado en mí el deseo de superación en la vida, por compartir mis penas y mis alegrías siempre con una palabra de aliento para continuar luchando.

CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS	i
ÍNDICE DE FIGURAS	v
RESUMEN	viii
ABSTRACT	x
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	3
2.1 Proceso de extrusión.....	3
2.1.1 Aspectos generales.....	3
2.1.2 Clasificación General de los Extrusores.....	3
2.1.3 Variables en el proceso de extrusión	7
2.1.4 Beneficio del proceso de extrusión.....	8
2.2 Importancia de los cereales en la alimentación.....	12
2.2.1 Maíz (<i>Zea mays</i> L.)	13
2.2.2 Amaranto (<i>Amaranthus Spp</i>).....	14
2.2.3 Trigo (<i>Triticum aestivum</i> L.).....	15
2.2.4 Avena (<i>Avena sativa</i> L.)	16
2.3 Importancia de las leguminosas en la alimentación	18
2.3.1 Garbanzo (<i>Cicer arietinum</i> L.)	20
2.3.2 Lenteja (<i>Lens culinaris</i>)	21
2.3.3 Soya (<i>Glycine max</i>)	22
2.3.4 Frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	23
2.4 Mezcla de leguminosas y cereales.....	24
2.5 Factores antinutritivos de leguminosas	26
2.5.1 Efecto de los tratamientos tecnológicos sobre la actividad de los factores antinutritivos	26
2.6 Capacidades funcionales en harinas.....	28
2.6.1 Capacidad de absorción de agua.....	29
2.6.2 Capacidad de absorción de aceite	29
2.7 Alimentación de las personas de la tercera edad.....	30
2.8 Estudios realizados con mezclas cereal-leguminosas	33
2.8.1 Trabajos realizados con el extrusor del programa de maestría en alimentos	35
JUSTIFICACIÓN	36
OBJETIVOS	37
General	37
Particulares	37
III. MATERIALES Y MÉTODOS	38
3.1 Materia prima	38
3.2 Materiales y reactivos.....	38

3.3 Equipos	38
3.4 Métodos.....	39
3.4.1 Desarrollo experimental	39
3.4.2 Desarrollo de productos	49
3.4.2.1 Tamal y galletas con base en mezclas de maíz con leguminosas	49
3.4.2.2 Panques con base en mezclas de avena con leguminosas	50
3.4.2.3 Pizzas con base en las mezclas de trigo con leguminosas	50
3.4.2.4 Análisis sensorial.....	50
3.4.3 Análisis estadísticos	51
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	52
4.1 Composición química	52
4.1.1 Contenido de proteína de las materias primas.....	52
4.1.2 Diseño de las mezclas cereal-leguminosa (50:50 base proteína)	53
4.1.3 Valor nutritivo de las mezclas cereal-leguminosas en base al 50:50 de proteína	54
4.1.3.1 Mezclas maíz-leguminosas	54
4.1.3.2 Mezclas amaranto-leguminosas.....	57
4.1.3.3 Mezclas avena-leguminosas	60
4.1.3.4 Mezclas trigo-leguminosas.....	63
4.1.3.5 Beneficio de las mezclas 50:50 base proteína	66
4.2 Proceso de extrusión.....	69
4.2.1 Acondicionamiento de las mezclas cereal-leguminosas	69
4.2.2 Efecto de las mezclas cereal-leguminosas en la velocidad de alimentación y tiempo de retención	69
4.3 Digestibilidad <i>in vitro</i> de la proteína en las mezclas cereal-leguminosa crudas y extrudidas	71
4.3.1 Mezcla maíz-frijol cruda y extrudida	71
4.3.2 Mezcla maíz-lenteja cruda y extrudida	72
4.3.3 Mezcla maíz-soya cruda y extrudida	73
4.3.4 Mezcla maíz-garbanzo cruda y extrudida.....	74
4.3.5 Mezcla amaranto-frijol cruda y extrudida.....	75
4.3.6 Mezcla amaranto-lenteja cruda y extrudida.....	76
4.3.7 Mezcla amaranto-soya cruda y extrudida.....	77
4.3.8 Mezcla amaranto-garbanzo cruda y extrudida	77
4.3.9 Mezcla avena-frijol cruda y extrudida	78
4.3.10 Mezcla avena-lenteja cruda y extrudida	79
4.3.11 Mezcla avena-soya cruda y extrudida	80
4.3.12 Mezcla avena-garbanzo cruda y extrudida.....	81
4.3.13 Mezcla trigo-frijol cruda y extrudida	81
4.3.14 Mezcla trigo-lenteja cruda y extrudida.....	82
4.3.15 Mezcla trigo-soya cruda y extrudida.....	83
4.3.16 Mezcla trigo-garbanzo cruda y extrudida	83
4.4 Propiedades funcionales de las harinas de las mezclas crudas y extrudidas de cereal-leguminosas	84
4.4.1 Absorción de aceite (AAC) de las harinas de las mezclas extrudidas de cereal-leguminosas	86

4.4.1.1 Mezclas maíz-leguminosas extrudidas.....	86
4.4.1.2 Mezcla amaranto-leguminosas extrudidas	87
4.4.1.3 Mezcla trigo-leguminosas extrudidas	88
4.4.1.4 Mezcla avena-leguminosas extrudidas	89
4.4.2 Capacidad de retención de agua (CRA) de las harinas de las mezclas extrudidas de cereal-leguminosas	89
4.4.2.1 Maíz-leguminosas extrudidas.....	89
4.4.2.2 Amaranto-leguminosas extrudidas	91
4.4.2.3 Mezclas avena-leguminosas extrudidas.....	92
4.4.2.4 Mezclas trigo-leguminosas.....	93
4.5 Desarrollo de alimentos con base en harinas extrudidas de cereal-leguminosas para personas de la tercera edad.....	95
4.5.1 Tamal y galletas con base en las mezclas maíz-leguminosas	95
4.5.1.1 Galletas con base en mezclas maíz-leguminosas.....	95
4.5.1.2 Tamales con base en mezclas maíz-leguminosas.....	104
4.5.2 Panques con base en mezcla avena con leguminosas.....	112
4.5.2.1 Panque a base de harina de la mezcla avena-frijol extrudida	112
4.5.2.2 Panque a base de harina de la mezcla avena-lenteja extrudida	115
4.5.2.3 Panque a base de harina de la mezcla avena-soya extrudida	117
4.5.2.4 Panque a base de harina de la mezcla avena-garbanzo extrudida.....	120
4.5.3 Base para pizzas a partir de las mezclas trigo-leguminosas.....	124
4.5.3.1 Mezcla trigo-frijol extrudida.....	124
4.5.3.2 Mezcla trigo-lenteja extrudida.....	127
4.5.3.3 Mezcla trigo-soya extrudida.....	129
4.5.3.4 Mezcla trigo-garbanzo extrudida	132
V. CONCLUSIONES	137
BIBLIOGRAFÍA	139

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO	TÍTULO	PÁGINA
1	Composición química de algunos cereales, en base a 100 g de producto.	13
2	Composición de aminoácidos del maíz, en base a 100 g de producto.	14
3	Composición de aminoácidos del amaranto, en base a 100 g de producto.	15
4	Composición de aminoácidos del trigo, en base a 100 g de producto.	16
5	Composición de aminoácidos de la avena, en base a 100 g de producto.	18
6	Composición química de algunas leguminosas, en base a 100 g de producto.	19
7	Composición de aminoácidos del garbanzo, en base a 100 g de producto.	20
8	Composición de aminoácidos de la lenteja, en base a 100 g de producto.	21
9	Composición de aminoácidos de la soya, en base a 100 g de producto.	22
10	Composición de aminoácidos del frijol, en base a 100 g de producto.	24
11	Requerimientos nutrimentales para las personas de la tercera edad.	33
12	Materias primas empleadas en el experimento.	38
13	Corridas en el extrusor a las condiciones propuestas de la mezcla maíz-leguminosa.	43
14	Corridas en el extrusor a las condiciones propuestas de la mezcla trigo-leguminosa.	44
15	Corridas en el extrusor a las condiciones propuestas de la mezcla avena-leguminosa.	45
16	Corridas en el extrusor a las condiciones propuestas de la mezcla amaranto-leguminosa.	46
17	Condiciones de operación durante el proceso de extrusión y respuestas a evaluar en las harinas de cereales y leguminosas.	47
18	Contenido de proteína obtenido en los cereales.	52
19	Contenido de proteína obtenido en las leguminosas.	53
20	Diseño de las mezclas en base a un aporte del 50 %: 50 % de proteína cereal: leguminosa.	54

Índice de cuadros..... continuación

CUADRO	TÍTULO	PÁGINA
21	Valor nutricional de las mezclas de maíz con las leguminosas en 100 g de mezcla.	56
22	Balance de aminoácidos de las mezclas maíz-leguminosas.	57
23	Valor nutricional de las mezclas de amaranto con las leguminosas en 100 g de mezcla.	59
24	Balance de aminoácidos de las mezclas amaranto-leguminosas.	60
25	Valor nutricional de las mezclas de avena con las leguminosas en 100 g de mezcla.	62
26	Balance de aminoácidos de las mezclas avena-leguminosas.	63
27	Valor nutricional de las mezclas de trigo con las leguminosas en 100 g de mezcla.	65
28	Balance de aminoácidos de las mezclas trigo-leguminosas.	66
29	Porcentaje de humedad de las mezclas crudas cereal-leguminosas.	69
30	Velocidad de alimentación (kg/h) y tiempo de residencia (s) en las mezclas extrudidas.	70
31	Velocidad de alimentación (kg/h) y tiempo de residencia (s) en las leguminosas extrudidas.	71
32	Digestibilidad protéica in vitro de la mezcla maíz-frijol.	72
33	Digestibilidad protéica in vitro de la mezcla maíz-lenteja.	73
34	Digestibilidad protéica in vitro de la mezcla maíz-soya.	74
35	Digestibilidad protéica in vitro de la mezcla maíz-garbanzo.	75
36	Digestibilidad protéica in vitro de la mezcla amaranto-frijol.	76
37	Digestibilidad protéica in vitro de la mezcla amaranto-lenteja.	76
38	Digestibilidad protéica in vitro de la mezcla amaranto-soya.	77
39	Digestibilidad protéica in vitro de la mezcla amaranto-garbanzo.	78
40	Digestibilidad protéica in vitro de la mezcla avena-frijol.	79
41	Digestibilidad protéica in vitro de la mezcla avena-lenteja.	80
42	Digestibilidad protéica in vitro de la mezcla avena-soya.	80
43	Digestibilidad protéica in vitro de la mezcla avena-garbanzo.	81
44	Digestibilidad protéica in vitro de la mezcla trigo-frijol.	82

Índice de cuadros..... continuación

CUADRO	TÍTULO	PÁGINA
45	Digestibilidad protéica in vitro de la mezcla trigo-lenteja.	82
46	Digestibilidad protéica in vitro de la mezcla trigo-soya.	83
47	Digestibilidad protéica in vitro de la mezcla trigo-garbanzo.	84
48	Propiedades funcionales de las materias primas crudas.	85
49	Capacidad de absorción de aceite en las mezclas maíz-leguminosas.	87
50	Capacidad de absorción de aceite en las mezclas amaranto-leguminosas.	88
51	Capacidad de absorción de aceite en las mezclas trigo-leguminosas.	88
52	Capacidad de absorción de aceite en las mezclas avena-leguminosas.	89
53	Capacidad de retención de agua en las mezclas maíz-leguminosas.	91
54	Capacidad de retención de agua en las mezclas amaranto-leguminosas.	92
55	Capacidad de retención de agua en las mezclas avena-leguminosas.	93
56	Capacidad de retención de agua en las mezclas trigo-leguminosas.	94
57	Formulación empleada para el desarrollo de las galletas con las mezclas maíz-leguminosas extrudidas.	95
58	Valor nutritivo de las galletas elaboradas a base de mezcla maíz-leguminosa extrudida (en 100 g de producto).	97
59	Composición en aminoácidos de las galletas elaboradas a base de mezcla maíz-leguminosa extrudida (en 100 g de producto).	98
60	Formulación empleada para el desarrollo de los tamales con las mezclas maíz-leguminosas extrudidas.	104
61	Valor nutritivo de los tamales elaborados a base de mezcla maíz-leguminosa extrudida (en 100 g de producto).	106
62	Composición en aminoácidos de los tamales elaborados a base de mezcla maíz-leguminosa extrudida (en 100 g de producto).	107
63	Formulación empleada en la elaboración de los panqués de avena-frijol.	113

Índice de cuadros..... continuación

CUADRO	TÍTULO	PÁGINA
64	Formulación empleada en la elaboración de los panqués de avena-lenteja.	115
65	Formulación empleada en la elaboración de los panqués de avena-soya.	118
66	Formulación empleada en la elaboración de los panqués de avenagarbanzo.	120
67	Valor nutritivo de los panqués elaborados a base de mezcla avena-leguminosa extrudida (en 100 g de producto).	123
68	Composición en aminoácidos de los panqués elaborados a base de mezcla avena-leguminosa extrudida (en 100 g de producto).	124
69	Formulación empleada en la elaboración de la base para pizza y su complemento a partir de la mezcla de trigo-frijol.	126
70	Formulación empleada en la elaboración de la base para pizza y su complemento a partir de la mezcla de trigo-lenteja.	127
71	Formulación empleada en la elaboración de la base para pizza y su complemento a partir de la mezcla de trigo-soya.	129
72	Formulación empleada en la elaboración de la base para pizza y su complemento a partir de la mezcla de trigo-garbanzo.	134
73	Composición en aminoácidos de las pizzas elaboradas a base de mezcla trigo-leguminosa extrudida (en 100 g de producto).	135
74	Valor nutritivo de las pizzas elaboradas a base de mezcla avena-leguminosa extrudida (en 100 g de producto).	136

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	TÍTULO	PÁGINA
1	Componentes principales de un extrusor.	4
2	Extrusor seco (izquierda) y extrusor seco con preacondicionador.	5
3	Componentes principales de un extrusor húmedo.	6
4	Extrusor de tornillos gemelos.	7
5	Interacción de las propiedades del material, variables del proceso y características del producto.	8
6	Estructura de la molécula de la amilopectina.	29
7	Estructura terciaria de una proteína.	30
8	Aminoácidos hidrofóbicos.	30
9	Diagrama de bloques para la etapa experimental.	39
10	Molienda de los granos por separado.	40
11	Determinación de proteína por el método Kjeldahl.	41
12	Sistema empleado para la determinación de digestibilidad en las muestras.	42
13	Mezcladora empleada para la humectación de las materias primas.	47
14	Extrusor empleado en el desarrollo de la tesis.	48
15	Determinación de la capacidad de retención de agua y del índice de absorción de aceite.	49
16	Cuestionario de la evaluación sensorial afectiva de nivel de agrado empleado	51
17	Proceso de elaboración de las galletas de frutas con las mezclas maíz-leguminosas.	96
18	Fotografía de la galleta a base de la mezcla maíz-lenteja.	98
19	Frecuencias de aceptación de la galleta a base de la mezcla maíz-lenteja.	99
20	Fotografía de la galleta a base de la mezcla maíz-soya.	100
21	Frecuencia de aceptación de la galleta a base de la mezcla maíz-soya.	100
22	Fotografía de la galleta a base de la mezcla maíz-garbanzo.	101
23	Frecuencias de aceptación de la galleta a base de la mezcla maíz-garbanzo.	102

Índice de figuras..... continuación

FIGURA	TÍTULO	PÁGINA
24	Fotografía de la galleta a base de la mezcla maíz-frijol.	103
25	Frecuencia de aceptación de la galleta a base de la mezcla maíz-frijol.	103
26	Proceso de elaboración de los tamales con las mezclas maíz-leguminosas.	105
27	Fotografía del tamal a base de la mezcla maíz-lenteja.	107
28	Frecuencia de aceptación del tamal a base de la mezcla maíz-lenteja.	108
29	Fotografía del tamal a base de la mezcla maíz-soya.	109
30	Frecuencia de aceptación del tamal a base de la mezcla maíz-soya.	109
31	Fotografía del tamal a base de la mezcla maíz-garbanzo.	110
32	Frecuencia de aceptación del tamal a base de la mezcla maíz-frijol.	110
33	Fotografía del tamal a base de la mezcla maíz-garbanzo.	111
34	Frecuencia de aceptación del tamal a base de la mezcla maíz-frijol.	112
35	Proceso de elaboración de los panqués con la mezcla avena-frijol.	114
36	Fotografía del panqué a base de la mezcla avena-frijol.	114
37	Frecuencias de aceptación del panque a base de la mezcla avena-frijol.	115
38	Proceso de elaboración de los panqués con la mezcla avena-lenteja.	116
39	Fotografía del panqué a base de la mezcla avena-lenteja.	116
40	Frecuencias de aceptación del panqué a base de la mezcla avena-lenteja.	117
41	Proceso de elaboración de los panqués con la mezcla avena-soya.	119
42	Fotografía del panqué a base de la mezcla avena-soya.	119
43	Frecuencias de aceptación del panqué a base de la mezcla avena-soya.	120
44	Proceso de elaboración de los panqués con la mezcla avena-garbanzo.	121

Índice de figuras..... continuación

FIGURA	TÍTULO	PÁGINA
45	Fotografía del panqué a base de la mezcla avena-garbanzo.	122
46	Frecuencias de aceptación del panqué a base de la mezcla avena-garbanzo.	122
47	Proceso de elaboración de las pizzas con la mezcla trigo-frijol.	125
48	Frecuencias de aceptación de la pizza a partir de trigo-frijol extrudido.	126
49	Proceso de elaboración de las pizzas con la mezcla trigo-lenteja.	128
50	Frecuencias de aceptación de la pizza a partir de la mezcla trigo-lenteja.	129
51	Proceso de elaboración de las pizzas con la mezcla trigo-soya.	131
52	Frecuencias de aceptación de la pizza de la mezcla trigo-soya.	132
53	Proceso de elaboración de las pizzas con la mezcla trigo-garbanzo.	133
54	Frecuencias de aceptación de la pizza de la mezcla trigo-garbanzo.	125

RESUMEN

En las últimas décadas se ha desarrollado la extrusión, como un método versátil, rápido y eficiente en la reducción de factores antinutricionales y en el aumento de la digestibilidad proteica. Las principales variaciones del proceso incluyen humedad, perfil de temperaturas, configuración del extrusor, velocidad de rotación del tornillo y acondicionamiento del material antes de la extrusión. El principal desafío que enfrenta la humanidad es la lucha contra el hambre y la desnutrición, siendo las personas de la tercera edad especialmente vulnerables al desarrollo de carencias nutricionales. Por lo anterior, surge la necesidad de desarrollar productos alimenticios enfocados a cubrir la demanda del grupo de personas de la tercera edad, que satisfaga sus necesidades nutricionales con el uso de harinas extrudidas de cereales y leguminosas para obtener un mejor balance en la calidad proteica del producto final. El objetivo principal del presente trabajo es establecer las condiciones de proceso de extrusión de mezclas de cereales y leguminosas para su aplicación en la formulación de alimentos para las personas de la tercera edad mejorando su calidad proteínica. El desarrollo de las harinas se realizó en base a mezclas de maíz con soya, frijol, lenteja y garbanzo en una proporción de 50:50 en relación al contenido de proteínas; mientras que en el proceso de extrusión se utilizaron como variables de proceso la humedad de la mezcla (24, 26 y 28 %) y la temperatura de transición (110, 120 y 130 °C). Como productos se elaboraron galletas y tamales con las mezclas maíz-leguminosas, panquecitos para las mezclas avena-leguminosas y pizzas a partir de las mezclas trigo-leguminosas; realizándose una evaluación sensorial afectiva de nivel de agrado, mediante una escala hedónica de 7 puntos con 80 jueces no entrenados. La extrusión aumentó la digestibilidad en las mezclas de maíz en el intervalo de 7.5 a 12.9 %, en las mezclas de amaranto fue de 6.5 a 8.6 %, en las de avena de 15.4 a 20.1 % y en las de trigo de 9.2 a 17.8 %. Durante el proceso se observó que las mejores condiciones para la extrusión fueron la temperatura de 130 °C y las humedades de 26 y 28 %. El valor del contenido de humedad de las mezclas, antes de la extrusión, no tuvo un efecto estadísticamente significativo en el valor de la digestibilidad *in vitro*, pero la temperatura de procesamiento aumentó la digestibilidad y tuvo

diferencia estadística significativa. En cuanto a las propiedades funcionales, en general la extrusión aumentó la capacidad de absorción de agua y aceite, siendo la temperatura el factor que más efecto tuvo sobre dichos valores. La absorción de aceite aumentó desde un 15.48 % hasta un 75.34 % en las mezclas de maíz, 12.33 % a 43.65 % en las mezclas de amaranto, de 15.38 % en la mezcla trigo-garbanzo, 20.43 % en la mezcla trigo-soya y en las mezclas de avena-leguminosas no hubo efecto, ya que el valor se mantuvo. La absorción de agua en las mezclas de maíz-leguminosas estuvieron desde 59.09 % hasta 100.77 %; para las mezclas de amaranto-leguminosas los incrementos fueron desde 31.63 % hasta 216.15 %; en las mezclas avena-leguminosas se lograron aumentos desde 152.14 % hasta 239.13 % y en las mezclas trigo-leguminosas se tuvieron incrementos desde 80.82 % hasta 190.99 %. En cuanto a los productos desarrollados con las mezclas maíz-leguminosa, se observó que para las galletas el 40 % de los jueces eligió el nivel de agrado de calificación 6 (me gusta) y la intención de compra fue mayor del 75 %; mientras que para los tamales el 43 % de los jueces seleccionaron el nivel de agrado con la calificación 6 (me gusta) y presentaron el 100 % de intención de compra. Para los panqués elaborados a base de harina de avena-leguminosas el 35 % de los evaluadores eligieron el nivel de agrado de 6 (me gusta) y la intención de compra fue de 85 %. Las pizzas elaboradas a base de harina de trigo-leguminosas fueron calificadas con el nivel de agrado de 6 (me gusta) por un mínimo del 32.5 % de los jueces y la intención de compra del 78.8 %.

ABSTRACT

In recent decades the extrusion has been developed as a versatile, fast and efficient method in reducing anti-nutritional factors and the increase in protein digestibility. The main changes in the process include humidity, temperature profile, setting the extruder, screw rotation speed and conditioning of the material before extrusion. The main challenge facing humanity is the struggle against hunger and malnutrition, being the older people especially vulnerable to developing nutritional deficiencies. Therefore, the need to develop food products tailored to meet the demand of the group of seniors that meets their nutritional needs with the use of extruded flours of cereals and legumes to obtain a better balance in the protein quality of final product. The main objective of this study is to establish conditions for extrusion of mixtures of cereals and legumes for use in the formulation of food for elderly people to improve its protein quality. The development of the flours were made based on mixtures of corn with soybeans, beans, lentils and chickpeas in a 50:50 ratio in relation to protein content, while in the process of extrusion process variables used as moisture of the mixture (24, 26 and 28%) and the transition temperature (110, 120 and 130 ° C). As products are produced cookies and tamales with corn-legume mixes, muffin with oat-legume mixes and pizzas from wheat-legume mixtures. A sensory evaluation was carried out through a hedonic scale of 7 points with 80 untrained judges. Extrusion increased the digestibility of corn mixtures in the range of 7.5 to 12.9%, in the amaranth mixtures was 6.5 to 8.6%, in the oat from 15.4 to 20.1% and in wheat mixtures was from 9.2 to 17.8%. During the process it was observed that the best conditions for extrusion were 130 ° C and humidity of 26 and 28%. The value of the moisture content of the mixes before extrusion showed no statistically significant effect on the value of *in vitro* digestibility, but the processing temperature increased digestibility and had significant statistical difference. In terms of functional properties in general the extrusion increased the capacity to absorb water and oil, being the temperature the most important factor on those securities. The absorption of oil increased from 15.48% to 75.34% in mixtures of corn, 12.33% to 43.65% in the mixtures of amaranth, 15.38% in the wheat-chickpea mixture, 20.43% in the wheat-soya mix and the oat-legume mixtures have not effect, since the value was



maintained. The absorption of water in corn-legume mixtures were from 59.09% to 100.77%, for amaranth-legume mixtures increases from 31.63% to 216.15%, in oat-legume mixtures is achieved increases from 152.14% to 239.13 % and wheat-legume mixtures were taken increments from 80.82% to 190.99%. Regardless the products developed with corn-legume mixtures, it was noted that the cookies, 40% of judges chose the level of satisfaction rating 6 (I like) and purchase intent was higher than 75%, while tamales for 43% of the judges selected the level of satisfaction with the grade 6 (I like) and had a 100% purchase intent. For muffins prepared from legume-oat flour, 35% of the evaluators chose the level of liking of 6 (I like) and purchase intent was 85%. The pizzas made from flour of wheat-legumes were qualified to the level of satisfaction of 6 (like me) for a minimum of 32.5% of the judges and the intention to purchase 78.8%.

I. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas se ha desarrollado la extrusión, como un método versátil, rápido y eficiente en la reducción de factores antinutricionales y en el aumento de la digestibilidad proteica (Cheftel *et al.*, 1998).

La extrusión es el proceso que consiste en dar forma a un producto, forzándolo a través de una abertura con diseño específico; puede o no implicar simultáneamente un proceso de cocción (Valls, 1993). En las últimas décadas se ha desarrollado la extrusión, como un método versátil, rápido y eficiente en la reducción de factores antinutricionales y en el aumento de la digestibilidad proteica (Cheftel *et al.*, 1998).

Las principales variaciones del proceso incluyen humedad, perfil de temperaturas, configuración del extrusor, velocidad de rotación del tornillo y acondicionamiento del material antes de la extrusión (Rokey, 1995). Los extrusores pueden ser clasificados como húmedos o secos, y a su vez de acuerdo al tipo de construcción en extrusores de tornillo simple y de doble hélice (tornillos gemelos).

En el proceso de extrusión, el almidón es el componente que juega el papel más importante, ya que los cambios que sufre afectan la expansión y la textura final del producto extrudido (Lai y Kokini, 1991); también mejora la digestibilidad de la proteína vía desnaturalización, porque expone los puntos activos a las enzimas digestivas.

Durante la precocción por extrusión de productos amiláceos como son los cereales y las leguminosas, se presentan fenómenos como la gelatinización de almidones y la desnaturalización de proteínas. En consecuencia, algunas propiedades funcionales pueden verse modificadas, lo cual desde el punto de vista tecnológico, cobra gran importancia en el uso potencial de estos extruidos como ingredientes durante la formulación de alimentos, pues imparten al producto final una determinada textura: lo harán fluido o pastoso, untoso o pegajoso, le darán estabilidad al almacenamiento, etc.

La extrusión se considera como un proceso de alta temperatura y corto tiempo (HTST, por sus siglas en inglés) que evita daños innecesarios en componentes sensibles como aminoácidos (AA) y permite la inactivación de ciertos factores antinutricionales y así aumenta la digestibilidad de proteínas, mejorando así el valor nutritivo de los alimentos.

El principal desafío que enfrenta la humanidad es la lucha contra el hambre y la desnutrición. Esta circunstancia demanda la utilización de nuevas fuentes alimenticias con adecuada calidad proteica para asegurar una dieta suficiente. Para ello se requiere el desarrollo de nuevos productos alimenticios proteínicos para complementar los alimentos tradicionales de origen animal (Apro *et al.*, 2004).

Las personas de la tercera edad son especialmente vulnerables al desarrollo de carencias nutricionales; necesitan alimentos de valor nutritivo concentrado y prefieren alimentos fáciles de preparar y comer (Reyes *et al.*, 2004). Por lo anterior, surge la necesidad de desarrollar productos alimenticios enfocados a cubrir la demanda del grupo de personas de la tercera edad, que satisfaga sus necesidades nutricionales y que además tengan una fácil preparación para su consumo con el uso de harinas extrudidas de cereales y leguminosas para obtener un mejor balance en la calidad proteica del producto final.

II. ANTECEDENTES

2.1 Proceso de extrusión

2.1.1 Aspectos generales

La extrusión es definida como "el proceso que consiste en dar forma a un producto, forzándolo a través de una abertura con diseño específico". Así pues, la extrusión puede o no implicar simultáneamente un proceso de cocción (Valls, 1993). Durante la extrusión, los constituyentes moleculares están sujetos a una sucesión de tratamientos casi instantáneos. Las principales variaciones del proceso incluyen humedad, perfil de temperaturas, configuración del extrusor, velocidad de rotación del tornillo y acondicionamiento del material antes de la extrusión (Rokey, 1995).

La extrusión a altas temperaturas (100-180 °C) y presión por corto tiempo (30-120 segundos), es uno de los procesos tecnológicos de mayor versatilidad para la elaboración de productos alimenticios a partir de granos de cereales y leguminosas (Delahaye *et al.*, 1997; Hurtado *et al.*, 2001). Su alta productividad, costos bajos de operación, eficiencia energética, obtención de productos de alto valor biológico y elevada digestibilidad de las proteínas (Mercier, 1993; Milán-Carrillo *et al.*, 2002) lo convierten en un proceso tecnológico atractivo. En la extrusión, los parámetros importantes que influyen en la calidad del producto terminado son: el contenido de humedad del material y el tiempo de residencia, el cual es influenciado por la velocidad de alimentación, velocidad y configuración del tornillo, geometría del dado, temperatura y presión. Particularmente, los atributos sensoriales de los extrudidos dependen en gran medida de las variables relacionadas con el equipo y con la composición química de la materia prima (Chen *et al.*, 1991).

2.1.2 Clasificación General de los Extrusores

La extrusión-cocción es un proceso que involucra varias operaciones unitarias que incluyen el mezclado, cocimiento, corte y moldeado. Un extrusor consta básicamente de una tolva alimentadora, que permite proporcionar un flujo uniforme y constante a la

entrada del equipo. El tornillo o rotor es la parte central del extrusor que ejecuta las operaciones de mezclado, amasado, corte, cocimiento y transporte del material que se lleva a cabo dentro del cañón o cilindro y por último la boquilla que le da forma al producto final (Harper, 1981)(Figura 1).

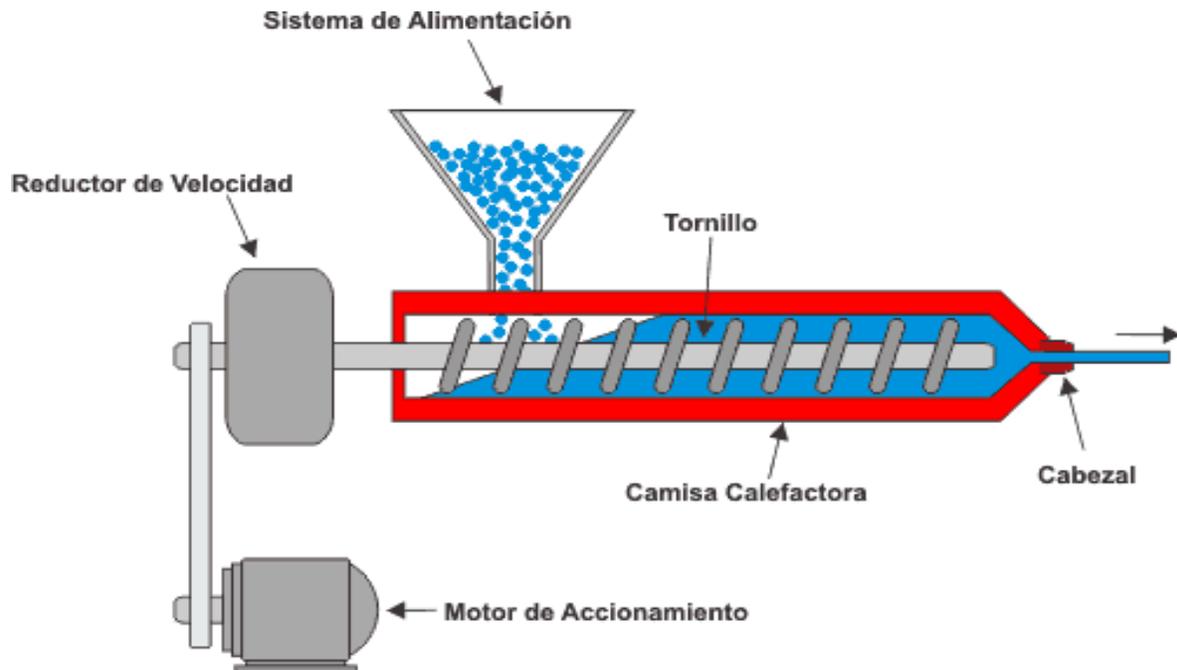


Figura 1. Componentes principales de un extrusor (Harper, 1981).

Los extrusores de alimentos se pueden visualizar como equipos que pueden transformar una diversidad de ingredientes crudos en productos intermedios y finalizados. Todos los extrusores consisten de uno o dos tornillos que transportan los ingredientes premezclados a través del cilindro (Riaz, 2002).

De forma sencilla, los extrusores pueden ser clasificados como: húmedos o secos, y a su vez de acuerdo al tipo de construcción: extrusores de tornillo simple y de doble hélice (tornillos gemelos).

- ♣ Extrusión en seco: Este tipo de extrusor no necesita una fuente externa de calor o vapor por inyección o calentamiento por camisa, y el calentamiento de todo el producto se consigue mediante fricción mecánica (Figura 2). Los extrusores secos pueden procesar ingredientes que tienen un amplio intervalo de contenido de

humedad, es decir 10-40 %, dependiendo de la formulación premezclada. Si los ingredientes tienen un contenido de humedad inicial suficientemente bajo, no es necesario un secado del producto después de la cocción por extrusión. La pérdida de humedad en la extrusión seca es en forma de evaporación súbita del vapor en el troquel, y la amplitud depende de la humedad inicial en los ingredientes y de la temperatura de salida del producto. Los extrusores secos tienen la opción de inyectar agua durante la extrusión (Riaz, 2002). Es posible usarla en productos con elevado contenido en aceite, como por ejemplo el procesado de soya, puesto que el propio aceite lubrica el paso por la matriz. Tiene el inconveniente de alcanzar temperaturas muy elevadas, a diferencia del proceso en húmedo, con lo que disminuye la lisina disponible. Este procedimiento no es posible aplicarlo a cereales, por la imposibilidad física de trabajar con la máquina a este nivel de humedad, generalmente debajo del 20 % (Valls, 1993; Rokey, 1995).

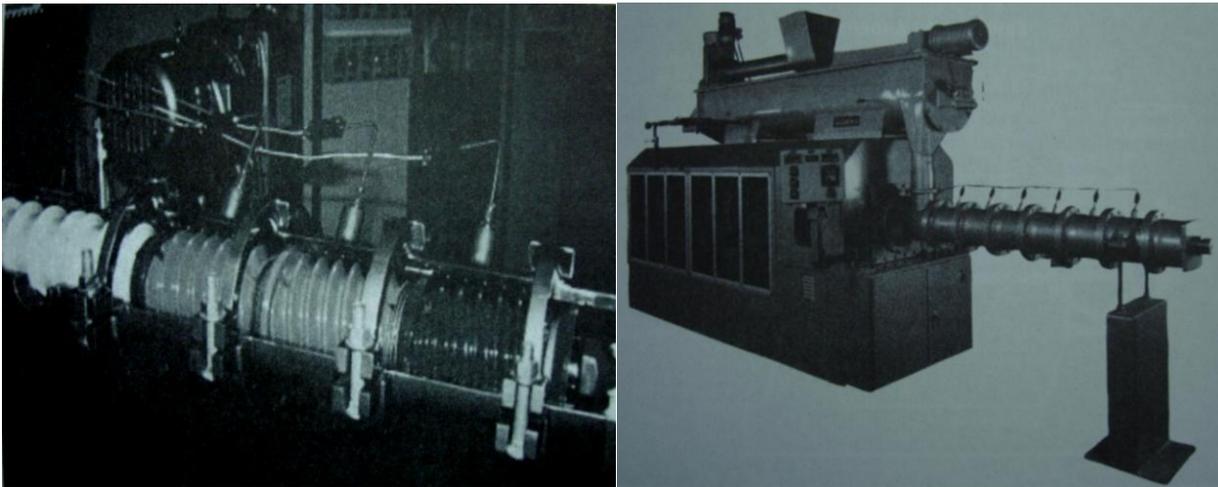


Figura 2. Extrusor seco (izquierda) y extrusor seco con preacondicionador (Riaz, 2002).

- ♣ Extrusión en húmedo: Son aquéllos donde el vapor y el agua se pueden inyectar dentro del cilindro durante el procesado. Típicamente, los cilindros de estas máquinas están equipadas con camisas de calentamiento y enfriamiento (Ver Figura 3) (Riaz, 2002). En forma general en este proceso se deben cuidar los siguientes aspectos: el producto a procesar debe estar bien molido, regular la

temperatura de las diferentes secciones del proceso para conseguir la máxima calidad nutritiva del producto, y que el agua y el vapor sean adecuados para conseguir el nivel de humedad necesarios, la presión y la superficie de apertura de la matriz idóneos para que el producto salga con la máxima calidad y el mínimo costo (Valls, 1993).

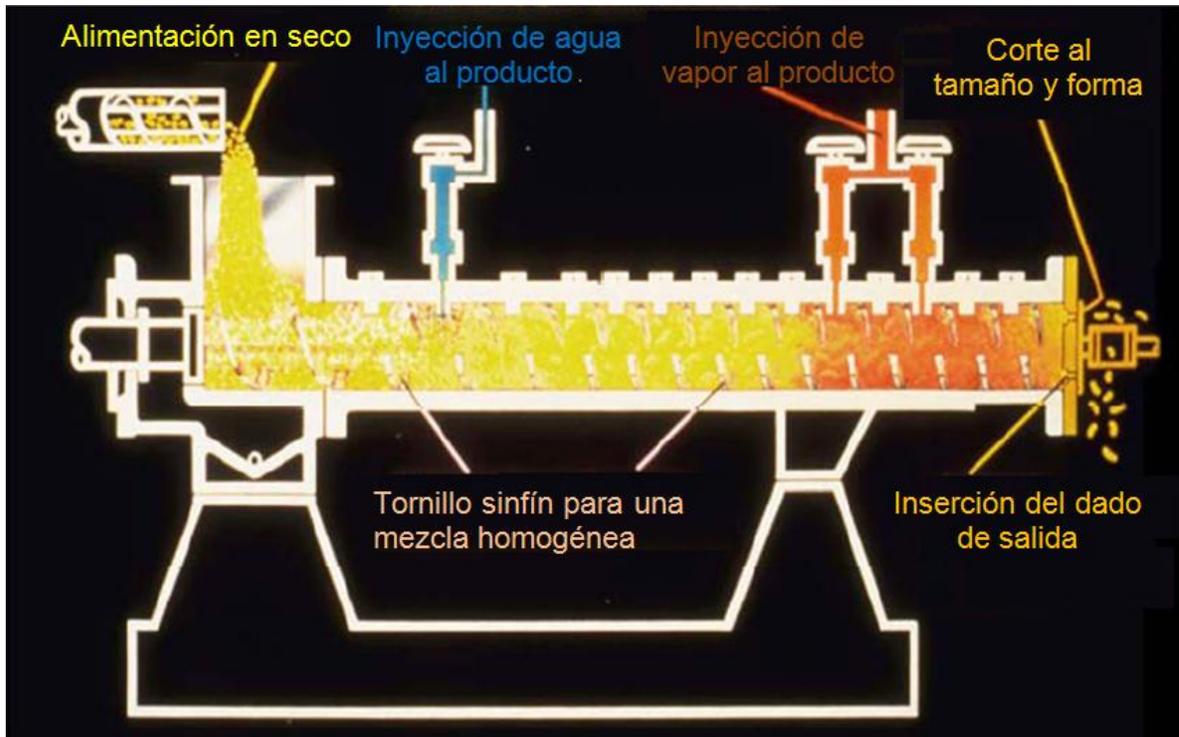


Figura 3. Componentes principales de un extrusor húmedo (Riaz, 2002).

- ♣ Extrusores de tornillo simple: Son los más comunes en la industria de los alimentos, funcionan con un tornillo. Estos equipos se utilizan para la cocción de varios almidones y harinas de cereales. Los ingredientes se alimentan a través de una tolva hacia el tornillo cuya fuente de poder es un motor eléctrico. El tornillo gira en un canal, en la mayoría de los casos es una superficie cilíndrica, que ofrece dicha superficie para producir los esfuerzos cortantes en el material y sirve además como una superficie de transferencia de calor, ya sea para calentar o enfriar. Al generar calor por la fricción producida entre el material y las superficies metálicas del tornillo y del barril o cilindro, es posible cocer la materia prima y finalmente obtener un producto precocido o totalmente cocido (Harper, 1986).

- ♣ Extrusores de tornillos gemelos: Son aquéllos con dos tornillos de igual longitud situados en el interior del mismo cilindro (Figura 4). Los extrusores de doble tornillo son más complicados que los extrusores de tornillo simple. Pero al mismo tiempo proporcionan mucho más flexibilidad y un mejor control (Riaz, 2002).

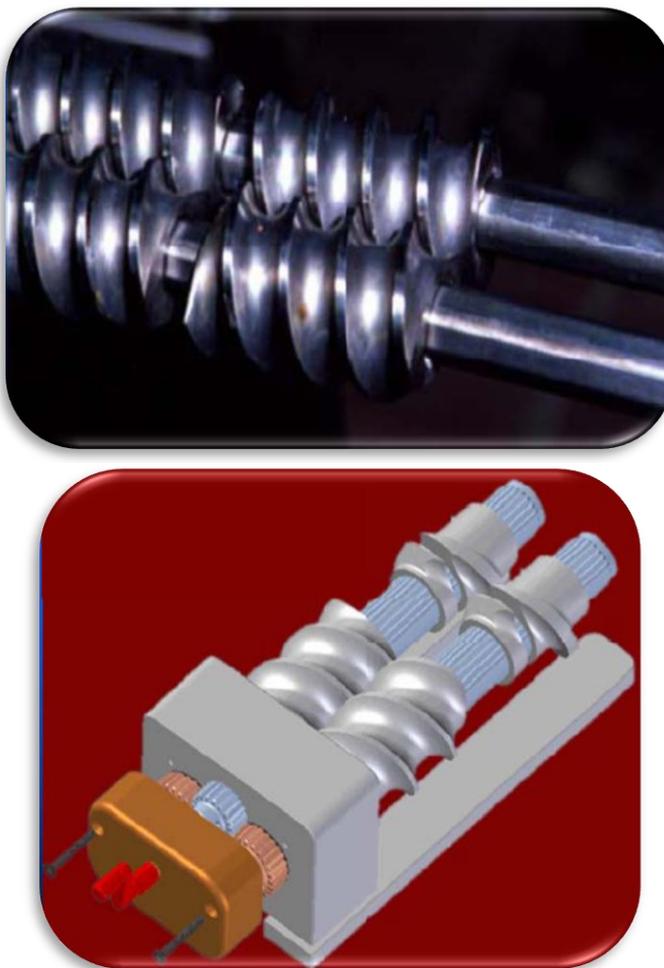


Figura 4. Extrusor de tornillos gemelos (Riaz, 2002).

2.1.3 Variables en el proceso de extrusión

Los dos factores que tienen más influencia sobre la naturaleza de los productos extrudidos son las condiciones de operación del extrusor y las propiedades reológicas de los ingredientes. Mientras que los parámetros de operación más importantes son la temperatura, presión, diámetro de abertura de la boquilla y esfuerzo de corte. El esfuerzo de corte está influenciado por la geometría del tornillo, su velocidad y diseño interno del cilindro (Figura 5) (Harper, 1981).

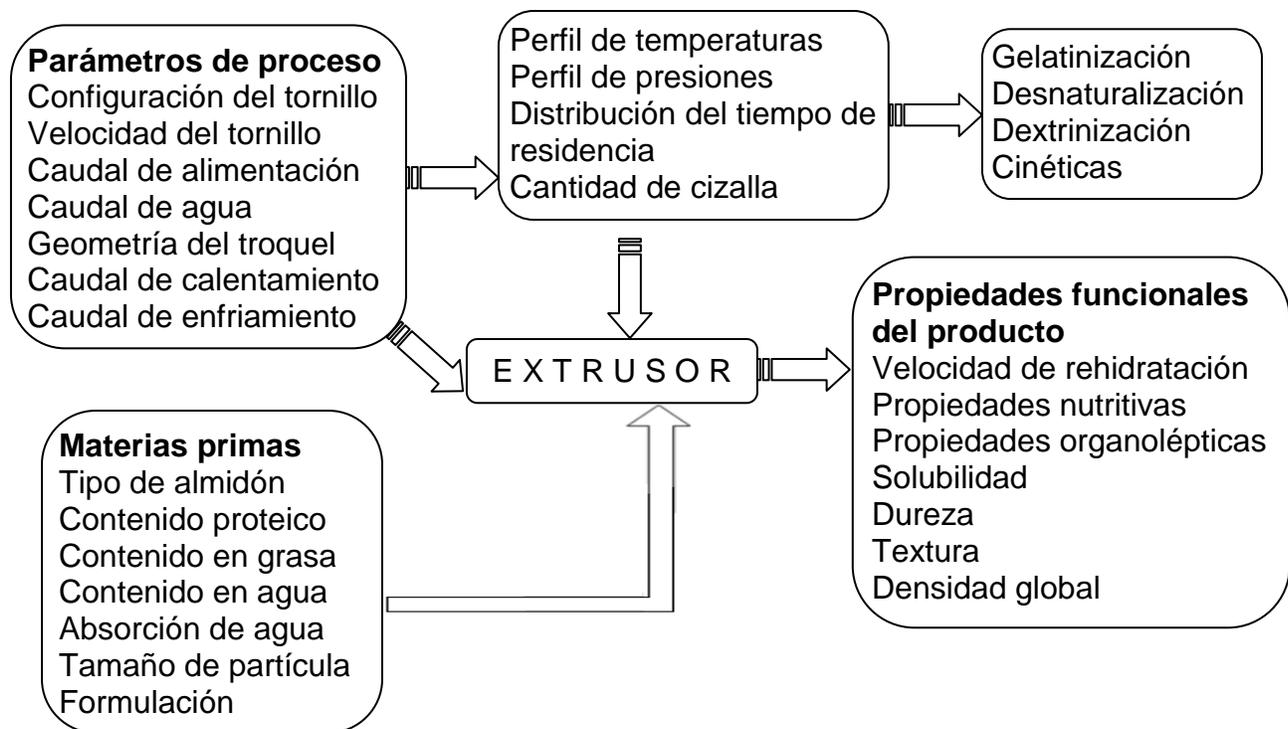


Figura 5. Interacción de las propiedades del material, variables del proceso y características del producto (Chessari y Sellahewa, 2002).

2.1.4 Beneficio del proceso de extrusión

La extrusión ofrece esperanza para la mejora nutritiva en las naciones menos desarrolladas. La extrusión puede producir alimentos estables por sí mismos, libres de contaminación microbiológica y que se pueden almacenar en épocas de carencias y desastres naturales (Camire, 2002).

2.1.4.1 Digestibilidad de la proteína

La extrusión mejora la digestibilidad de la proteína vía desnaturalización, que expone los puntos activos a las enzimas digestivas. La mayoría de las proteínas tales como las enzimas y los inhibidores de enzimas pierden la actividad debido a la desnaturalización (Camire, 2002).

Las altas temperaturas en el cilindro y las humedades bajas promueven las reacciones de Maillard en el desarrollo de la extrusión. Los azúcares reductores, incluyendo los que se forman durante el cizallamiento del almidón y la sacarosa,

pueden reaccionar con lisina, bajando de este modo el valor nutritivo proteico (Camire, 2002).

La extrusión de productos con elevado contenido proteico se realiza generalmente para controlar los factores antinutricionales (FAN) que están contenidos en las materias primas. Durante el proceso de extrusión, estos inhibidores son inactivados para evitar bloquear la actividad enzimática en el intestino (Valls, 1993). Además de la inactivación de los FAN por los tratamientos térmicos, las propiedades físico-químicas de las proteínas pueden sufrir cambios significativos debido a la desnaturalización producida por el calor, la cual es irreversible.

Conforme la temperatura de las proteínas y la concentración de agua se incrementan en el proceso de extrusión, las moléculas se alinean a lo largo de la matriz y se produce el desdoblamiento de las cadenas proteicas vegetales con la consecuente pérdida de su forma globular nativa tridimensional. En ausencia de cantidades importantes de almidón, la cocción por extrusión reduce la solubilidad de la proteína cuando la temperatura aumenta. Existe un proceso por el cual a medida que la temperatura se va elevando, la proteína se va dañando. La cantidad de proteína dañada se puede medir y cuantificar mediante la determinación de nitrógeno soluble. Muchas proteínas son desnaturalizadas y rotas por la extrusión y pierden por tanto algunas de sus propiedades funcionales (Valls, 1993).

En productos con elevado contenido en almidón, la proteína queda dentro de la matriz formada por el almidón, con lo que queda enredada y encapsulada. Sin embargo las enzimas digestivas del tracto intestinal (amilasas) disuelven la matriz de almidón, liberando la proteína (Valls, 1993).

2.1.4.2 Efectos sobre los carbohidratos

El componente químico de mayor proporción en las leguminosas y los cereales son los carbohidratos. Estos están constituidos por los mono y oligosacáridos, el almidón y otros polisacáridos (Brenes y Brenes, 1993). El almidón es el carbohidrato

predominante en estos productos vegetales. El almidón se encuentra en los cereales en forma de gránulos pequeños de diferentes formas -esféricos, ovalados, lentillas, irregulares- en función de su origen (Valls, 1993).

En el proceso de extrusión, el gránulo de almidón absorbe agua y en el instante de salida de la matriz del extrusor, el agua sometida a presión pasa a la forma de vapor y el almidón sufre un proceso de alineamiento, rizado y rotura (Valls, 1993).

La cocción por extrusión es un tanto única debido a que la gelatinización tiene lugar a niveles de humedad mucho más bajos (12-22 %), que son necesarios en otras operaciones alimentarias (Camire, 2002).

La presencia de otros compuestos alimentarios, particularmente lípidos, sacarosa, fibra dietética y sales, también afectan la gelatinización (Jin *et al.*, 1994). La gelatinización completa no tiene lugar, pero aún así se mejora la digestibilidad (Wang *et al.*, 1993).

Existen pocos datos publicados del efecto de la extrusión sobre la fibra, aunque se haya estudiado. Por ejemplo cuando se extruye salvado, el contenido en fibra soluble se incrementa significativamente. Varias observaciones indican que las paredes de las celulosas del producto extrudido se adelgaza y la superficie es más rugosa que la inicial de partida (Valls, 1993).

2.1.4.3 Efecto sobre los lípidos

Generalmente, los alimentos que contienen menos del 10 % de lípidos son más fácilmente extrudidos debido a que cantidades más grandes de lípidos reducen el deslizamiento dentro del cilindro, haciendo más difícil la extrusión, particularmente en productos expandidos (Camire, 2002). La extrusión se puede utilizar para ayudar a la extracción de aceite puesto que el aceite es liberado durante las operaciones de cocción y cizallamiento (Nelson *et al.*, 1987).

Los aceites que contienen los cereales y leguminosas al ser el producto extrudido sufren un proceso de emulsión debido a la fuerte presión a que son sometidas las finas gotas de grasa que son recubiertas por los almidones y proteínas, quedando la grasa encapsulada. La grasa al ser emulsionada es más susceptible a la acción de los jugos digestivos, aumentando por tanto el valor energético del producto. Generalmente las lipasas y peroxidasas son inactivadas durante el proceso de extrusión en condiciones normales, mejorando la estabilidad posterior del producto (Valls, 1993).

A pesar del interés en la salud, de las ventajas de ácidos grasos omega-3, solamente se ha publicado un estudio sobre la estabilidad de estos lípidos altamente insaturados (Camire, 2002). Tanto el ácido docosahexanoico (DHA) como el eicosapentanoico (EPA) se retuvieron en cebo de músculo de salmón extrudido con el 10 % de harina de trigo (Suzuki *et al.*, 1988). Otra cuestión nutritiva es la seguridad de la baja formación de ácidos grasos *trans*; Maga (1978; citado por Camire, 2002) encontró en extrusión de mezclas de maíz y soya formación de solamente el 1.5 % de ácidos grasos *trans*.

2.1.4.4 Efecto sobre las vitaminas

Cada vitamina tiene sus propias características de estabilidad durante los procesos térmicos. Los efectos en la estabilidad en las vitaminas durante la extrusión son complicados debido a la acción de la humedad, fricción y altas temperaturas y presiones (Valls, 1993).

Las vitaminas liposolubles A, D y E en general, son estables durante la extrusión. El nivel de humedad del producto durante la extrusión tiene el mayor efecto sobre la retención de vitaminas. Como norma general, alto nivel de humedad en el proceso da más vitaminas retenidas (Valls, 1993).

Las vitaminas hidrosolubles, como la vitamina C o del grupo B, pueden perder estabilidad durante la extrusión. La extrusión húmeda produce una pérdida de vitamina C y tiamina (desde el 5% hasta el 100%) (Valls, 1993; Killeit, 1994).

2.2 Importancia de los cereales en la alimentación

Los granos de cereales han sido y siguen siendo importantes fuentes de carbohidratos, proteínas, vitaminas del complejo B y minerales en la dieta mundial. Los cereales más utilizados son: trigo (*Triticum aestivum* L.), arroz (*Oryza sativa* L.), maíz (*Zea mays* L.), mijo (*Panicum miliaceum* L.), sorgo [*Sorghum bicolor* (L.) Moench], cebada (*Hordeum vulgare* L.), centeno (*Secale cereale* L.) y avena (*Avena sativa* L.) (Roderuck y Fox, 1987).

En una alimentación adecuada, cuando los cereales representan entre el 50 y 66 % de los alimentos consumidos, se obtienen fuentes de vitamina C, vitamina A (o sus precursores, los carotenoides) y minerales para adultos, y alimentos ricos en proteínas para el crecimiento de los niños (Roderuck y Fox, 1987).

La calidad nutricional de los cereales es un componente integral de los alimentos, ya que representan el mayor componente de los alimentos mundiales. La calidad nutritiva de los granos de cereales está determinada por sus componentes principales, los carbohidratos, proteínas y lípidos, y la digestibilidad total (Bhatia y Rabson, 1987). En el Cuadro 1, se muestra la composición química de algunos cereales (Muñoz, 2010).

Para todas las proteínas de cereales, que son mezclas compuestas de varias clases de proteínas, la lisina es el primer aminoácido limitante seguido por treonina en la mayoría de los cereales y el triptófano en el maíz (Bhatia y Rabson, 1987).

A continuación se dan algunas características principales de los cereales, enfatizando su composición de aminoácidos indispensables que son importantes en la alimentación, ya que en ello se fundamenta la calidad de las proteínas.

Cuadro 1. Composición química de algunos cereales, en base a 100 g de producto.

Característica	Unidad	Cereal			
		Maíz	Trigo	Avena	Amaranto
Energía	kc	365.00	359.00	389.00	374.00
Proteína total	g	9.42	12.60	16.89	14.45
Digestibilidad	%	85.00	95.00	95.00	95.00
Hidratos de carbono	g	74.26	73.40	66.27	66.17
Grasa total	g	4.74	2.60	6.90	6.51
Agua	g	10.80	9.10	8.22	9.84
Cenizas	g	0.78	2.30	1.72	3.04
Ác. grasos saturados	g	0.60	0.31	1.22	1.66
Ác. grasos monoinsaturados	g	1.30	0.30	2.18	1.43
Ác. grasos poliinsaturados	g	2.50	0.77	2.53	2.89
Fibra dietética (AOAC)	g	3.20	3.30	6.60	6.70
Ác. ascórbico (C)	mg	0.00	0.00	0.00	4.20
Tiamina (B1)	mg	0.34	0.59	0.76	0.08
Riboflavina (B2)	mg	0.08	0.22	0.14	0.21
Niacina (B3)	mg	1.60	4.40	0.96	1.29
Ácido Pantoténico	mg	0.43	0.94	1.35	1.05
Vitamina B6	mg	0.62	0.34	0.12	0.22
Ácido fólico	µg	19.00	43.00	56.00	49.00
Vitamina A	µg	47.00	0.00	0.00	0.00
Alfa tocoferol (E)	mg	0.00	1.01	1.09	0.00
Tocoferol total	mg	0.00	1.01	1.09	0.00
Calcio	mg	158.00	58.00	54.00	153.00
Hierro	mg	2.71	3.60	4.72	7.59
Magnesio	mg	147.00	160.00	177.00	266.00
Fósforo	mg	235.00	332.00	523.00	455.00
Potasio	mg	284.00	370.00	429.00	366.00
Sodio	mg	1.00	3.00	2.00	21.00
Zinc	mg	2.21	2.60	3.97	3.18
Cobre	mg	0.19	0.41	0.63	0.78
Manganeso	mg	0.50	4.06	4.92	2.26
Fitoesterol	mg	0.00	0.00	0.00	24.00

Fuente: Muñoz, 2010.

2.2.1 Maíz (*Zea mays* L.)

El maíz ha sido, desde hace muchos años, uno de los productos más importantes en la dieta latinoamericana (Estévez *et al.*, 2003). En cuanto a la alimentación humana, el

maíz es el tercer cereal en importancia, después del trigo y el arroz; sin embargo, posee un contenido proteínico relativamente bajo y una composición de aminoácidos esenciales desfavorable (Gutiérrez *et al.*, 2008). En el Cuadro 2, se detalla la composición de aminoácidos indispensables en el maíz amarillo.

Cuadro 2. Composición de aminoácidos indispensables del maíz, en base a 100 g de producto.

Aminoácido	Contenido mg/100 g
Histidina	258
Isoleucina	350
Leucina	1190
Lisina*	254
Metionina	182
Fenilalanina	464
Treonina	342
Triptofano*	67
Valina	461

Fuente: Muñoz, 2010. * Déficit en aminoácido

Es generalmente conocido que el maíz normal tiene un elevado contenido de carbohidratos (73 %), mientras que el contenido de proteínas es significativamente menor (7 al 9 %), con un bajo nivel de aminoácidos indispensables principalmente la lisina con 1.6 % y triptófano con 0.47 % necesarios para el desarrollo humano; mientras que el maíz de alta calidad proteínica (QPM) contiene en promedio 3.1 % de lisina y 1 % de triptófano (Pérez-Navarrete *et al.*, 2006).

2.2.2 Amaranto (*Amaranthus Spp*)

El amaranto pertenece a la familia de las amarantáceas. Actualmente se cultiva en América Central, América del Sur, África, Asia y Europa. Debido a su atractiva composición química y elevado valor nutritivo, se considera importante fomentar su producción, industrialización y utilización a mayor escala (Puntieri y Apro, 2004).

El valor nutricional del amaranto es comparable con la caseína, con una digestibilidad del 80-90 %, contenido proteico alto (12,8% a 17,4%) fracción grasa de 5,6-10,6% y contenido de almidón superior al 60%. Su contenido de aminoácidos es destacable, ya que cumple con los requerimientos para la nutrición humana, según la FAO/WHO, con niveles relativamente altos de lisina (Puntieri y Apro, 2004). En el Cuadro 3, se presenta la composición de aminoácidos indispensables en el amaranto.

Cuadro 3. Composición de aminoácidos indispensables del amaranto, en base a 100 g de producto.

Aminoácido	Contenido mg/100 g
Histidina	451
Isoleucina	695
Leucina	1030
Lisina	970
Metionina	344
Fenilalanina	707
Treonina	676
Triptofano*	51
Valina	842

Fuente: Muñoz, 2010. * Déficit en aminoácido

2.2.3 Trigo (*Triticum aestivum* L.)

El trigo es uno de los principales cereales en la dieta de una enorme parte de la población mundial y, por lo tanto, puede suponer una importante contribución a una dieta de alta calidad nutritiva y a la salud humana. Es conocido el efecto benéfico del salvado de trigo para mejorar la regularidad intestinal e impedir el estreñimiento. Además se han realizado abundantes investigaciones sobre su efecto protector contra el cáncer de colon y de mama (Chao *et al.*, 2000).

La fibra insoluble, como la del salvado de trigo, es resistente a la fermentación por las bacterias del colon e incrementa el volumen fecal mediante la retención de agua (Cummings *et al.*, 1976; Stephen y Cummings, 1980).

Hay varias sustancias fitoquímicas presentes en el trigo integral que también pueden tener efectos beneficiosos para la salud (Chao *et al.*, 2000).

Las proteínas del trigo tienen la capacidad de interactuar entre ellas y con otros componentes como los lípidos, para formar complejos de lipoproteínas viscoelásticas (gluten) (Feillet, 1984). En el Cuadro 4, se muestra la composición de aminoácidos indispensables en el trigo.

Cuadro 4. Composición de aminoácidos indispensables del trigo, en base a 100 g de producto.

Aminoácido	Contenido mg/100 g
Histidina	248
Isoleucina	435
Leucina	840
Lisina*	248
Metionina	174
Fenilalanina	581
Treonina*	321
Triptofano	128
Valina	493

Fuente: Muñoz, 2010. * Déficit en aminoácido

2.2.4 Avena (*Avena sativa* L.)

Es uno de los cereales más importantes y completos, es rica en proteínas de alto valor biológico, carbohidratos, grasas, vitaminas, minerales y oligoelementos en concentraciones óptimas, para una dieta sana (Romo *et al.*, 2007).

El componente mayoritario de la avena es el almidón, su absorción lenta y fácil asimilación proporciona energía durante largos periodos después de haber sido absorbidos por el aparato digestivo, y evita la sensación de fatiga y desaliento que experimenta el cuerpo cuando reclama glucosa de nuevo (hipoglucemia) y de esta forma evita una elevación súbita de la concentración de glucosa sanguínea. Las bajas cantidades de fructosa pueden ser significantes en el metabolismo de insulino dependientes. La fibra está compuesta de mucílagos y salvado, sustancias parcialmente solubles que no se absorben en el intestino, pero que resultan de una extraordinaria importancia para la buena digestión, aunque no aportan nutrientes. El mucílago, dentro de su funcionalidad lubrica y suaviza el tránsito en el tracto digestivo; mientras que el salvado, es de textura muy suave al paladar y apenas se percibe cuando se consume, es un laxante suave que además tiene un efecto similar al del avenasterol como reductor del colesterol sanguíneo (Romo *et al.*, 2007).

Con relación a la calidad de su proteína, la avena contiene seis de los ocho aminoácidos necesarios para la síntesis correcta de proteínas, es deficiente en lisina y treonina; sin embargo, se considera que su aporte de metionina es importante, por tanto su mezcla con leguminosas como la soya, normalmente baja en metionina, o con leche, deficiente en aminoácidos azufrados, permite mejorar el perfil de aminoácidos de la mezcla obtenida, aproximándola a la ideal para el organismo mediante la obtención de proteínas completas con valor nutricional semejante a proteínas animales como las de la carne, el pescado y los huevos (Romo *et al.*, 2007). En el Cuadro 5, se detalla la composición de aminoácidos indispensables en la avena.

Cuadro 5. Composición de aminoácidos indispensables de la avena, en base a 100 g de producto.

Aminoácido	Contenido mg/100 g
Histidina	292
Isoleucina	526
Leucina	1012
Lisina*	517
Metionina	234
Fenilalanina	698
Treonina	462
Triptofano	176
Valina	711

Fuente: Muñoz, 2010. * Déficit en aminoácido

2.3 Importancia de las leguminosas en la alimentación

Las leguminosas son una de las fuentes de proteínas económicas, ricas en lisina pero deficientes en aminoácidos azufrados. Sin embargo los niveles de almidón son menores en comparación con los cereales. Es por esto, que por sí solas, las leguminosas no resultan ser los materiales adecuados para la extrusión (Pérez-Navarrete *et al.*, 2006). En el Cuadro 6, se detalla la composición química de algunas leguminosas.

Las leguminosas son consideradas principalmente como fuentes de proteína. Cuando el contenido de proteína disminuye la proporción de algunos aminoácidos aumenta, especialmente en el caso de la lisina, los aminoácidos azufrados, el triptófano y la treonina; en otras palabras, cualquier aumento en el contenido de proteína de las leguminosas lleva consigo una disminución de la calidad de ésta referida al perfil de sus aminoácidos (Brenes y Brenes, 1993).

Cuadro 6. Composición química de algunas leguminosas, en base a 100 g de producto.

Característica	Unidad	Leguminosa			
		Frijol	Lenteja	Garbanzo	Soya
Energía	kcal	341.00	353.00	381.00	446.00
Proteína total	g	21.60	25.80	20.40	36.49
Digestibilidad	%	78.00	78.00	78.00	78.00
Hidratos de carbono	g	62.36	60.08	61.00	30.16
Grasa total	g	1.42	1.06	6.20	19.94
Agua	g	12.02	10.30	10.40	8.54
Fibra cruda	g	4.30	5.20	5.00	4.96
Cenizas	g	2.58	2.76	2.00	4.87
Ác. grasos saturados	g	0.99	0.13	0.63	2.88
Ác. grasos monoinsaturados	g	0.34	0.16	1.36	4.40
Ác. grasos poliinsaturados	g	0.90	0.35	2.69	11.26
Fibra dietética insoluble	g	10.40	11.40	6.40	12.50
Ác. ascórbico (C)	mg	4.50	4.40	4.00	6.00
Tiamina (B1)	mg	0.63	0.69	0.74	1.10
Riboflavina (B2)	mg	0.22	0.25	0.21	0.87
Niacina (B3)	mg	2.06	2.62	1.54	2.20
Ácido Pantoténico	mg	0.78	1.85	1.59	0.79
Vitamina B6	mg	0.44	0.53	0.54	0.38
Ácido fólico	µg	394.10	433.00	556.60	375.10
Vitamina A	µg	1.00	4.00	7.00	2.00
Calcio	mg	183.00	74.00	105.00	277.00
Hierro	mg	8.20	9.02	8.90	15.70
Magnesio	mg	222.00	107.00	115.00	280.00
Fósforo	mg	407.00	454.00	366.00	730.00
Potasio	mg	1406.00	905.00	875.00	1797.00
Sodio	mg	12.00	10.00	24.00	2.00
Zinc	mg	3.65	3.61	3.43	4.89
Cobre	mg	0.96	0.85	0.85	1.66
Manganeso	mg	1.02	1.43	2.20	2.52
Fitoesterol	mg	127.00	0.00	35.00	161.00

Fuente: Muñoz, 2010.

2.3.1 Garbanzo (*Cicer arietinum* L.)

El garbanzo es una buena fuente de energía, proteínas y carbohidratos; además, posee importantes cantidades de vitaminas (tiamina, niacina), minerales (Ca, P, Fe, Mg, K) y ácidos grasos insaturados (oleico, linoleico). Sin embargo, las proteínas del garbanzo son deficientes en aminoácidos azufrados metionina y cisteína (Chavan y Salunkhe, 1987; Reyes *et al.*, 2002). En el Cuadro 7, se detalla la composición en aminoácidos indispensables del garbanzo.

Cuadro 7. Composición de aminoácidos indispensables del garbanzo, en base a 100 g de producto.

Aminoácido	Contenido mg/100 g
Histidina	531
Isoleucina	891
Leucina	1505
Lisina	1376
Metionina	209
Fenilalanina	1151
Treonina	756
Triptofano*	174
Valina*	913

Fuente: Muñoz, 2010. * Déficit en aminoácido

Las proteínas de garbanzo han sido consideradas una fuente adecuada para la dieta, debido a su buen equilibrio en la composición esencial de los aminoácidos, la biodisponibilidad es alta y bajo nivel de factores antinutricionales (Li *et al.*, 2008). Además, se ha reportado que el garbanzo reduce los niveles de colesterol y de glucosa en la sangre (Meng *et al.*, 2009).

2.3.2 Lenteja (*Lens culinaris*)

Las semillas de lentejas son un importante alimento en muchas regiones en vías de desarrollo y se está convirtiendo cada vez más popular en los países desarrollados donde se percibe como un componente saludable de la dieta (Whitehead *et al.*, 1998).

La lenteja es una de las leguminosas más importantes en el mundo por su calidad nutricional. Son ricas fuentes de hidratos de carbono complejos, proteínas, fibra dietética, vitaminas, minerales y de alto valor energético (Wang *et al.*, 2009). En el Cuadro 8, se presenta la composición de aminoácidos indispensables de la lenteja.

Cuadro 8. Composición de aminoácidos indispensables de la lenteja, en base a 100 g de producto.

Aminoácido	Contenido mg/100 g
Histidina	662
Isoleucina	1045
Leucina	1847
Lisina	1739
Metionina*	194
Fenilalanina	1266
Treonina	960
Triptofano*	231
Valina	1211

Fuente: Muñoz, 2010. * Déficit en aminoácido

Además las lentejas contienen flavonoides y compuestos fenólicos no flavonoides que se distribuyen entre los cotiledones y la cubierta de la semilla de una forma cualitativamente diferente (Dueñas *et al.*, 2007); los cuales son compuestos bioactivos antioxidantes, característica que en la actualidad los ha hecho de gran importancia.

2.3.3 Soya (*Glycine max*)

La soya es una oleaginosa con un contenido de proteína entre el 38 y 42 %, 19 a 22 % de aceite, 25 % de hidratos de carbono, 10 % de agua y 5 % de cenizas (Apro *et al.*, 2004; Ortega, 1983). En el Cuadro 9, se muestra la composición de aminoácidos indispensables de la soya.

Cuadro 9. Composición de aminoácidos indispensables de la soya, en base a 100 g de producto.

Aminoácido	Contenido mg/100 g
Histidina	1051
Isoleucina	1889
Leucina	3232
Lisina	2653
Metionina	525
Fenilalanina	2055
Treonina	1603
Triptofano	532
Valina	1995

Fuente: Muñoz, 2010.

Las semillas de soya tienen un alto contenido en fibra, un bajo índice calórico, no contienen colesterol y prácticamente tampoco grasas saturadas. La escasa grasa presente es rica en lecitina, un fosfolípido vital para las membranas celulares, el cerebro y el sistema nervioso (Geil y Anderson, 1994).

Al ser ricas en fibra soluble e insoluble (7 % y 10 %, respectivamente), la soya colabora a solucionar problemas de estreñimiento, regular las tasas de azúcar en el torrente sanguíneo. Por su contenido en hierro (16 mg /100 g), calcio (276 mg/100 g) y potasio (1797 mg/g) es rica en minerales. Además la soya posee un interesante contenido de *isoflavonas* (fitoestrógenos), estudiadas actualmente por sus

propiedades anti-cancerígenas, sus funciones antioxidantes, y un papel importante en la mejoría de la mineralización ósea (Erickson, 1995).

2.3.4 Frijol (*Phaseolus vulgaris* L.)

El frijol común no sólo es una buena fuente de proteína y carbohidratos complejos, también aporta vitaminas y minerales en cantidad relativamente adecuada (Guzmán-Maldonado *et al.*, 2000), contiene metabolitos secundarios como taninos, antocianinas, compuestos fenólicos y fibra, entre otros (Guzmán-Maldonado *et al.*, 1996; De Mejía *et al.*, 2003). Existe evidencia de que estos compuestos, identificados como fitoquímicos (DeFelice, 1995), juegan un papel importante en la prevención y el tratamiento de ciertas enfermedades.

El consumo de frijol resulta especialmente valioso como complemento de los cereales. El frijol contiene factores antinutricionales tales como inhibidores de tripsina, hemaglutinas, saponinas y ácido fítico, entre otros. Muchos de los cuales son destruidos, al menos en parte durante los tratamientos culinarios. Estos factores modifican el aprovechamiento nutricional de sus componentes (Serrano y Goñi, 2004).

El frijol negro tiene un contenido elevado de proteína, carbohidratos y minerales, poco contenido en lípidos, aunque es rico en ácido linolénico y su aporte calórico es relativamente bajo (Serrano y Goñi, 2004). En el Cuadro 10, se detalla la composición de aminoácidos indispensables del frijol negro.

Cuadro 10. Composición de aminoácidos indispensables del frijol, en base a 100 g de producto.

Aminoácido	Contenido mg/100 g
Histidina	627
Isoleucina	927
Leucina	1685
Lisina	1593
Metionina*	234
Fenilalanina	1154
Treonina	878
Triptofano	223
Valina	1016

Fuente: Muñoz, 2010. * Déficit en aminoácido

2.4 Mezcla de leguminosas y cereales

El consumo de cereales y leguminosas en un solo alimento aumenta la calidad de la proteína consumida gracias a la complementación aminoacídica que se produce. Los cereales representan una importante fuente de aminoácidos azufrados (metionina y cistina) y sus niveles son adecuados para compensar los bajos valores existentes en las leguminosas. Esta complementación no solo ocurre a nivel de proteína, sino también de vitaminas y minerales (Granito *et al.*, 2003).

La utilización de ambas especies (cereales y leguminosas) en la dieta podría incrementarse si se desarrollan productos de fácil consumo y que sean sensorialmente atractivos (Almeida-Domínguez *et al.*, 1990; Abd *et al.*, 2000). El valor nutritivo de las proteínas de leguminosas y cereales está limitado por la deficiencia en algunos aminoácidos; por ello, algunas combinaciones de cereales con leguminosas pueden ser muy ventajosas desde un punto de vista nutricional (Almeida-Domínguez *et al.*, 1990). Así las mezclas de proteínas de cereales que son deficientes en lisina pero con buen nivel de aminoácidos azufrados pueden ser complementadas por las proteínas de la soya, las cuales son deficientes en aminoácidos azufrados y con buen

nivel en lisina, lográndose mezclas proteicas con valores biológicos superiores a cualquiera de las fuentes utilizadas por separado, incluso a otras fuentes de proteínas tradicionales (Apro *et al.*, 2004).

Mezclas de cereales y leguminosas han sido empleadas en la formulación de alimentos infantiles (Bressani, 1983), pastas (Granito *et al.*, 2003), papillas (Cerezal-Mezquita *et al.*, 2007) y galletas (INCAP, 2002).

El resultado final es una harina mixta vegetal o harina compuesta, que contiene los niveles óptimos de proteínas y de aminoácidos necesarios para satisfacer los requerimientos nutricionales de la población y de alto valor biológico y muy digeribles (Apro *et al.*, 2004).

Las mezclas de maíz y frijol tratadas por el proceso de extrusión-cocción, han sido propuestas para elaborar alimentos precocidos, desde hace décadas. La propuesta estaba basada en dos aspectos importantes: en las mejoras nutricionales (incremento del % de proteínas y de su calidad) y en la mayor diversidad de texturas y formulaciones posibles de ser obtenidas por este proceso (Fritz *et al.*, 2006).

En todo el mundo, y especialmente en los países en desarrollo, la dieta se basa normalmente en el consumo de un cereal, por lo general maíz, sorgo o arroz, y de una legumbre, ya sean frijoles comunes, soya, garbanzo, principalmente. Los resultados de muchos estudios han mostrado que estos dos tipos de alimentos fundamentales se complementan nutritivamente entre sí. Así, por ejemplo, se observó un efecto complementario al alimentar a ratas con dietas que suministraban las proteínas a partir de esos dos componentes -maíz y frijoles comunes- en diversas proporciones, que variaban del 100 al 0 por ciento de uno y del 0 al 100 por ciento del otro. Cuando cada componente suministraba cerca del 50 por ciento de las proteínas de la dieta, se obtenía una calidad elevada, superior a la calidad de cada uno de los componentes considerado aisladamente. La causa de ello radica en la composición de aminoácidos indispensables de cada componente. Las proteínas del maíz son deficientes en lisina

y triptófano, pero tienen cantidades considerables de aminoácidos que contienen azufre (metionina y cistina). Mediante estos estudios se llegó a la conclusión de que la mejor manera en que las proteínas de los frijoles o de las legumbres alimenticias complementan a las proteínas del maíz es en una proporción de 30 partes de frijoles por 70 partes de maíz. Se ha demostrado que el efecto complementario descrito anteriormente también tiene lugar en los seres humanos (FAO, 1993).

2.5 Factores antinutritivos de leguminosas

En general, el valor nutritivo de las leguminosas es mucho menor de lo esperado si se tiene en cuenta su composición química, debido a que contienen una variedad de factores antinutritivos que inciden o interfieren en la disponibilidad biológica y la digestibilidad de uno o más nutrientes. La concentración de estos factores es muy variable y sus efectos biológicos son distintos (Brenes y Brenes, 1993).

Dentro de los factores antinutritivos se encuentran: taninos, lectinas, inhibidores de proteasas, vicina y covicina (haba) y proteínas antigénicas. Muchos de estos factores antimetabólicos pueden ser inactivados mediante una adecuada aplicación de diversos tratamientos tecnológicos (Brenes y Brenes, 1993).

2.5.1 Efecto de los tratamientos tecnológicos sobre la actividad de los factores antinutritivos

Para mejorar la calidad nutritiva de las leguminosas y para facilitar una utilización efectiva, es necesario eliminar o reducir la actividad de estos factores antinutritivos (FAN) produciéndose así un aumento de la digestibilidad de la proteína y de la energía. La termolabilidad de algunos de estos factores antinutritivos antes citados, principalmente los inhibidores de las proteasas y las lectinas, justifica la utilización de su tratamiento térmico. Por otra parte, y debido a que la proteína y los carbohidratos presentes en estas leguminosas son menos digestibles que los de los cereales, la aplicación de diversos tratamientos tecnológicos es un medio justificado para mejorar su disponibilidad (Brenes y Brenes, 1993).

Se ha confirmado plenamente que el tratamiento térmico mejora el valor nutritivo de las proteínas vegetales. El mecanismo de acción de este fenómeno puede estar basado en que facilita el acceso de las enzimas digestivas a los nutrientes, especialmente a las proteínas.

Los factores antinutricionales pueden clasificarse como termo estables y termo lábiles; los factores termoestables incluyen: factores antigénicos, oligosacáridos y aminoácidos no proteicos tóxicos, saponinas, estrógenos, cianógenos, fitatos; siendo los más importantes: los factores antigénicos, los oligosacáridos, las saponinas y los fitatos. Así mismo, entre los factores termolábiles se encuentran, los inhibidores de proteasas (tripsina y quimotripsina), lectinas, goitrogenos y antivitaminas; siendo los más importantes los inhibidores de proteasas y las lectinas (Elizalde *et al.*, 2009).

La mayor parte de estos inhibidores son termolábiles, por lo que su capacidad inhibitoria se reduce significativamente con los procesos térmicos culinarios. Se disminuye y elimina la actividad de algunos factores antifisiológicos, mientras que por otro lado, aumenta la disponibilidad de aminoácidos azufrados presentes en altas concentraciones (Serrano y Goñi, 2004).

Las lectinas son más sensibles al calor que los inhibidores de la tripsina, siendo la inactivación mucho más efectiva a la extrusión, al autoclave y al calor húmedo que al calor seco (Van der Poel, 1990).

Abd El- Hady y Habiba (2003) indican que, el remojo y la extrusión disminuye significativamente el contenido de antinutrientes, como el ácido fítico, taninos, los fenoles, inhibidores de la α -amilasa y de la tripsina. Por lo tanto, la extrusión de las leguminosas, a priori, remojadas en agua durante 16 horas se recomienda para mejorar el valor nutritivo de estas, al aumentar su utilización por los humanos y de los animales cuando se consumen directamente o como ingrediente de ciertas comidas.

2.6 Capacidades funcionales en harinas

Las propiedades funcionales de las proteínas y de los almidones, son las responsables de las propiedades fisicoquímicas que afectan el comportamiento en los sistemas alimentarios durante la preparación, procesamiento, almacenamiento y consumo. Las propiedades funcionales no sólo son importantes en la determinación de la calidad del producto final, sino también para facilitar el procesamiento, la maquinabilidad, por ejemplo, la mejora de la masa de galletas o el corte de las carnes procesadas (Kinsella, 1979).

Los ejemplos de las propiedades funcionales incluyen la densidad, solubilidad de la proteína, capacidad de absorción de agua y la de aceite, emulsificante y propiedades de formación de espuma. Los factores que afectan el comportamiento funcional de las proteínas en los alimentos son: su tamaño, forma, composición de aminoácidos y secuencia, carga neta, hidrofobia, la estructura y la rigidez molecular en respuesta al ambiente externo (pH, temperatura, concentración de sal) o con la otros componentes de los alimentos (Sadiq y Batool, 2010).

Los procesos que emplean energía térmica acompañada de acción mecánica sobre los gránulos de almidón, como es el caso de la cocción por extrusión, además del cambio en su organización cristalina (gelatinización), producen también su degradación, separando las cadenas laterales de la amilopectina, pero sin observar la formación de monosacáridos. Es decir, el almidón está parcialmente solubilizado pero no totalmente degradado y se produce una masa viscoplástica (Linko *et al.*, 1981; Polit, 1993).

A su vez, durante la extrusión ocurre la desnaturalización de las proteínas. Conforme la temperatura de las proteínas y la concentración del agua incrementan, las proteínas se desdoblán con la pérdida de su forma globular nativa tridimensional; para desdoblarse las proteínas deben interrumpir las fuerzas de organización, tales como enlaces de hidrógeno y disulfuro, iónicos y fuerzas de Van der Waals. Después de que

el desdoblamiento ocurre, las cadenas de proteína relativamente lineales son libres para reorientarse y combinarse (Harper, 1981).

Los cambios en la absorción de agua y solubilidad de productos extrudidos bajo las diferentes condiciones de temperatura pueden ser monitoreadas por la medición de la capacidad de absorber agua (CAA) y el índice de solubilidad (ISA).

2.6.1 Capacidad de absorción de agua

La absorción de agua de un producto amiláceo depende de la disponibilidad de grupos hidrofílicos, principalmente grupos hidroxilos (Figura 6), capaces de unir moléculas de agua y de la capacidad de formar gel de las macromoléculas (Gómez y Aguilera, 1983). Sin embargo, muchos carbohidratos absorben poco agua en su estado nativo, por ser cristalino y exponer poca superficie, pero pasan a absorber una gran cantidad cuando se desnaturalizan por la acción del calor y sus cadenas se despliegan. Este proceso, conocido como gelificación de los almidones, es de gran importancia en el procesamiento de los alimentos ya que supone un intenso cambio en las propiedades reológicas y una fijación de la estructura del alimento (Primo, 1997).

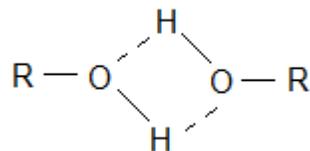


Figura 6. Estructura de la molécula de la amilopectina (Primo, 1997).

2.6.2 Capacidad de absorción de aceite

Es una medida indirecta de los enlaces hidrofóbicos proteína-grasa y su capacidad de enlazarse con compuestos lipofílicos (Figura 7), en este caso el aceite (Granito *et al.*, 2004). En la Figura 8, se ejemplifican los aminoácidos con comportamiento hidrofóbico y que pueden unirse a lípidos.

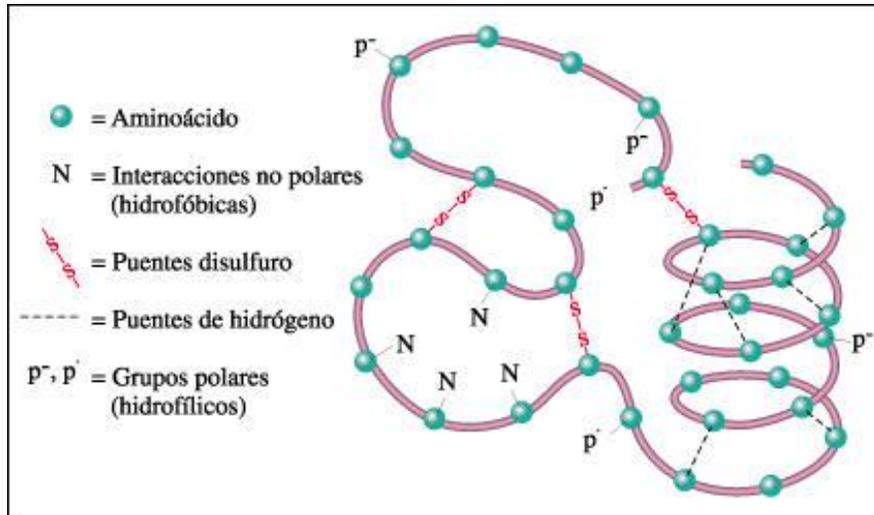


Figura 7. Estructura terciaria de una proteína (Fennema, 2000).

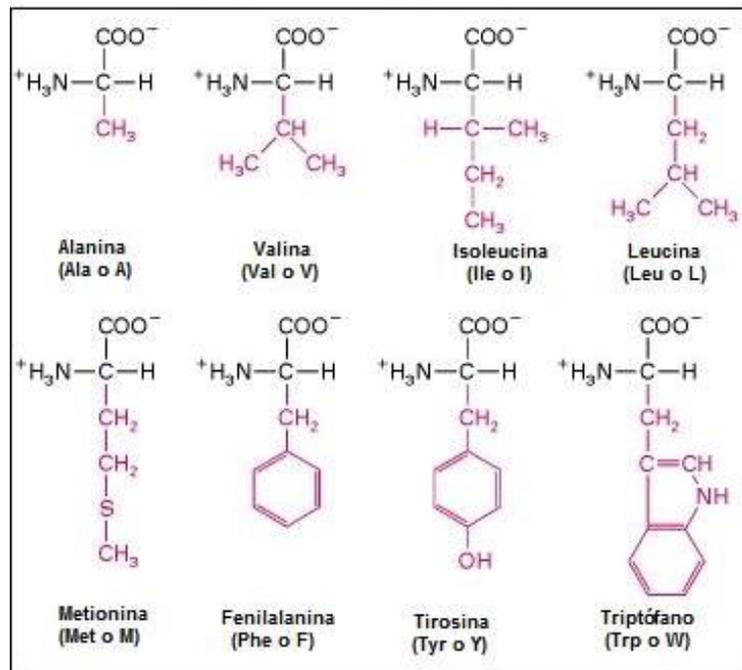


Figura 8. Aminoácidos hidrofóbicos (Fennema, 2000).

2.7 Alimentación de las personas de la tercera edad

Una sociedad envejece cuando se incrementa proporcionalmente el número de adultos mayores en relación con los otros grupos de edad. El proceso es lento, y depende en gran medida de la reducción de la fecundidad y el aumento de las expectativas de vida al nacer (Lutz *et al.*, 2008).

El envejecimiento es un proceso normal, en el que se manifiestan cambios lentos y progresivos. Entre los cambios corporales destaca la pérdida progresiva de masa magra, alteraciones del tracto digestivo, de los sistemas cardiovascular y renal, de la función inmune, entre otros; lo que se suma a la presencia de enfermedades agudas y crónicas que alteran la calidad de vida de este grupo etario (Lutz *et al.*, 2008). Los cambios psicológicos, sociales y económicos relacionados con el envejecimiento suelen afectar la alimentación del adulto mayor. Adicionalmente, diversas modificaciones fisiológicas a nivel del tracto digestivo afectan las fases de la digestión (ingesta, gástrica e intestinal), comprometiendo sus funciones: motora, secretora y de absorción (Lutz *et al.*, 2008).

Se sabe que los problemas de salud de los adultos mayores, se encuentran asociados a los procesos de cambios fisiológicos que experimenta el organismo y cuyas expresiones latentes son: lentitud de reacciones, modificaciones en las funciones motoras y de los sentidos, pérdida de la energía y disminución de las defensas frente a las enfermedades. Estos cambios hacen que las personas mayores sean más vulnerables al medio y que tengan una mayor propensión a las enfermedades y accidentes, con consecuencias físicas, psicológicas y sociales. Todos estos cambios influyen sobre la calidad de vida de los ancianos y pueden afectar también su estado nutricional (Reyes *et al.*, 2004).

Los datos de población de América Latina indican, que en todos los países ha habido un aumento continuo en el número total de personas con un aumento en la población de 65 años y más, que fluctúan entre 3% al 13%. Para el año 2020 más de 1000 millones de personas de 60 años y más vivirán en el mundo y alrededor de 700 millones en los países en desarrollo (Reyes *et al.*, 2004).

La tendencia de las últimas décadas, el aumento en la esperanza de vida de la población, junto con el descenso en la natalidad, hace prever que en el año 2050 en nuestro país alrededor del 40% de la población serán personas mayores de 65 años (Rodríguez *et al.*, 2001).

La tercera edad es una de las etapas de la vida en las que el cuidado de la alimentación merece una especial atención. Una dieta adecuada puede contribuir a disminuir la morbilidad y a mejorar la calidad de vida de las personas mayores, así como favorecer una rápida recuperación en caso de enfermedad. Hoy existen diversas opciones para mejorar la calidad de la dieta de las personas de edad avanzada, como los alimentos funcionales, complementos alimenticios y los productos dietéticos adaptados a su fisiología y requerimientos nutricionales (Rodríguez *et al.*, 2001).

Los productos dietéticos para personas de edad avanzada se encuentran en presentaciones diversas (Rodríguez *et al.*, 2001):

- ♣ Cereales para preparar (para tomar como desayuno o merienda).
- ♣ Purés listos para servir o para preparar (para la comida o la cena).
- ♣ Cremas y sopas instantáneas (para la comida o la cena).
- ♣ Compotas de fruta (como postre o entre comidas).
- ♣ Zumos y bebidas (entre comidas).
- ♣ Postres y gelatinas (como postre).

Es importante señalar, que antes de la existencia de estos productos en el mercado muchas personas mayores utilizaban productos infantiles (como cereales y purés) al ser productos de consistencia adecuada y fácil preparación. Merece la pena destacar que respecto a los alimentos infantiles, los productos para la tercera edad tienen una composición nutricional mejor adaptada a los requerimientos del adulto, ya que aportan (Rodríguez *et al.*, 2001):

- ♣ Mayores cantidades de proteína y más energía.
- ♣ Mayor cantidad de vitaminas y minerales.
- ♣ No contienen azúcar.
- ♣ Contienen menor cantidad de sodio.

En el Cuadro 11, se presentan las necesidades alimenticias de las personas de la tercera edad.

Cuadro 11. Requerimientos nutrimentales para las personas de la tercera edad.

Nutriente	Cantidad	Recomendaciones
Proteína	0.80 g/kg de peso/día	Son muy importantes, sobre todo en los afectados por enfermedades crónicas. Las carencias pueden causar graves trastornos: alteraciones cutáneas, edemas, fatiga, etc.
Carbohidratos	130-200 g diarios	Tienen que proporcionar del 55 al 60 % del valor calórico total de la dieta. Una menor tolerancia a la glucosa aconseja dietas con alto contenido en carbohidratos complejos y fibra (cereales integrales y verdura).
Grasas	Menos de 100 g / día son bien tolerados.	El aporte de grasas no debe ser inferior al 30 % del total de kilocalorías que se aporten en la dieta. Se recomienda que un 10-15% se consuma en forma monoinsaturada (aceite de oliva, de soya).
Minerales	Calcio: 1,200 mg/día para mujeres a partir de los 51 años. Fósforo: 700 mg/día. Hierro 8 mg/día. Sodio: 1.2-1.3 g/día. Zinc: 12-15 mg/día. Selenio: 4-3 mg/día.	La mala absorción del calcio en la tercera edad justifica un aumento del aporte.
Vitaminas	Vitamina D: 300 IU/día (10-15 µg/día) Vitamina A: 1000 ER/ día para hombres y 800-900 para mujeres	Se recomienda el consumo de alimentos ricos en estos nutrientes más suplementos en la dieta, debido a que se absorben mejor desde los alimentos.
Agua	2-3 litros/día	
Fibra	Hombres 30 g/día, mujeres 21 g/día	Para evitar problemas de estreñimiento.

Fuente: Nestle y Thompson *et al*, 2008.

2.8 Estudios realizados con mezclas cereal-leguminosas

Algunos trabajos desarrollados con cereales y/o leguminosas se presentan a continuación; en ellos se emplea la extrusión o la mezcla para el desarrollo de productos con un mejor balance de aminoácidos:

- ✓ 2001. Hurtado *et al*. Reportan mezclas de legumbre/cereal por fritura profunda de maíz amarillo y de tres cultivares de frijol para consumo tipo “snacks”. La mezcla

60:40 % (frijol:maíz) fue la de mejor balance proteínico y a su vez de mayor aceptación sensorial.

- ✓ 2002. INCAP. Informa de una galleta escolar nutricionalmente mejorada. La mezcla de 35:15:50 maíz descascarado: soya descascarada: harina de trigo; presentó una calidad proteínica de alrededor de 81% de la calidad de la proteína de la leche.
- ✓ 2002. Reyes *et al.* Descascarillado/Suavización/Extrusión (DSE): Presentan una alternativa tecnológica para mejorar la calidad nutricional del garbanzo. El proceso mejoró significativamente la digestibilidad proteínica *in vivo*. Utilizó un extrusor de tornillo simple Mod 20 DN (Brabender), con temperatura del extrusor 151°C, velocidad del tornillo 189.5 rpm.
- ✓ 2002. Witting *et al.* Realizaron la optimización de una formulación de espaguetis enriquecidos con fibra dietética y micronutrientes para el adulto mayor. La formulación optimizada correspondió a 66.7: 7.14:24.7: 1.05 sémola: harina de salvado de lupino dulce: agua: glúten.
- ✓ 2004. Apro *et al.* Desarrollaron harinas compuestas (maíz-soya semidesgrasada-Mix de vitaminas) precocidas por extrusión y su aplicación en planes alimentarios. (Producto enfocado a estudiantes), dio origen a una patente.
- ✓ 2006. Fritz *et al.* Seleccionaron las Condiciones de Extrusión para una mezcla maíz-frijol. Se utilizaron dos extrusores Brabender, 10 DN con tornillo de relación de compresión 3:1 y 20 DN con tornillo de relación de compresión 4:1. En ambos casos la temperatura de extrusión fue de 160 °C. Una boquilla de 3 mm de diámetro y una velocidad de rotación del tornillo de 150 rpm, fueron seleccionadas como las adecuadas.
- ✓ 2008. Gutiérrez *et al.* Desarrollaron un alimento para niños preparado con harinas de Harina de maíz extrudido (HME) y garbanzo extruidos (HGE). La mejor combinación HME/HGE fue 21.2:78.8%; su perfil de aminoácidos esenciales cubrió satisfactoriamente los requerimientos para niños de 2-5 años de edad recomendados por FAO/WHO, excepto para triptófano. Extrusor Brabender de tornillo simple, con las condiciones: Humedad del 28, 26,5%; temperatura del extrusor=79.4, 151°C y 73.5, 190 rpm para HME y HGE, respectivamente.

- ✓ 2008. Lozano-Aguilar *et al.* Reportaron un “Pinole” de alto valor nutricional obtenido a partir de cereales y leguminosas. Los pinoles de alta calidad proteínica, de composición: 35-20-40-5 (maíz-amaranto-garbanzo-haba); 35-20-40-5 y 30-20-40-10 (maíz-amaranto-garbanzo-lenteja), sobresalieron en aspectos importantes tales como: mayor calidad y digestibilidad de su proteína, así como mayor o similar aceptabilidad en comparación con el pinole de maíz.
- ✓ 2008. Pacheco- Delahaye *et al.* Desarrollaron, elaboraron y evaluaron polvos para bebidas instantáneas a base de harina extrudida de ñame (*Dioscorea alata*). La formulación con 20% de harina extrudida de ñame, 54.02% leche entera en polvo, 25.80% azúcar, 0.18% vainillina en polvo; permitió obtener un producto con propiedades químicas, físicas y sensoriales comparables al comercial, pero con propiedades antioxidantes. Extrusor de laboratorio de tipo monotornillo, marca Brabender, modelo AEV.330, Condiciones: Humedad 15%, velocidad rotacional 120 rpm, temperatura de alimentación: 75°C y temperatura de salida=180°C.

2.8.1 Trabajos realizados con el extrusor del programa de maestría en alimentos

Son dos los trabajos que se han realizado con el extrusor del Laboratorio de Tecnología, los cuales son las bases para el presente estudio y en resumen se presentan a continuación:

- ✓ 2001. Fernández. Estudió el efecto de la temperatura de extrusión sobre las propiedades funcionales y reológicas de harinas integrales de leguminosas. Las condiciones de trabajo seleccionadas fueron: Humedad de la materia prima del 30%, relación de compresión del tornillo 1:1, velocidad de rotación del tornillo de 75 rpm, Temperatura de alimentación de 75°C, Temperatura de salida=90°C, Temperatura de proceso de 120 y 150 °C.
- ✓ 2006. Velázquez. Estableció las condiciones del proceso de extrusión para la elaboración de botanas a partir de maíz. Siendo seleccionadas las condiciones de humedad de la materia prima 26%; relación de compresión del tornillo 1:2; velocidad de rotación del tornillo 70 rpm; temperatura de alimentación 90°C; temperatura de salida 140°C y temperatura de proceso 140°C.

JUSTIFICACIÓN

El principal desafío que enfrenta la humanidad es la lucha contra el hambre y la desnutrición. Esta circunstancia demanda la utilización de nuevas fuentes alimenticias con adecuada calidad proteica para asegurar una dieta suficiente.

El proceso de incrementar el valor nutritivo de una proteína en una dieta mixta se realiza mezclando dos o más de los elementos que lo integran en las proporciones adecuadas.

Las personas de la tercera edad necesitan alimentos de valor nutritivo concentrado y prefieren alimentos fáciles de preparar y comer. Los requerimientos de proteína son relativamente altos entre 0.8 - 1.0 g/kg de peso y preferiblemente proteína de alta calidad. La fibra se recomienda entre 20 - 35 g/día y de carbohidratos alrededor del 50 - 55% de las calorías totales. Otro nutriente importante es la ingestión de sodio que debe ser reducida (250 a 2000 mg diarios), con ingestión adecuada de vitaminas, minerales y de agua.

Los alimentos derivados de cereales y leguminosas, son una parte importante de la dieta humana, principalmente en países en vías de desarrollo. Una alternativa potencial para la cocción tradicional de las leguminosas es la cocción por extrusión. Este método ofrece diversas ventajas como son versatilidad, bajos costos de operación, optimiza el consumo de energía, los productos resultantes presentan una alta calidad con una degradación mínima de los nutrientes y un mejoramiento en la digestibilidad y valor biológico.

Por lo anterior, surge la necesidad de desarrollar productos alimenticios enfocados a cubrir la demanda del grupo de personas de la tercera edad, que satisfaga sus necesidades nutricias y que además tengan una fácil preparación para su consumo con el uso de harinas extrudidas de cereales y leguminosas para obtener un mejor balance en la calidad proteica del producto final.

OBJETIVOS

General

- ♣ Establecer las condiciones de proceso de extrusión de las mezclas de cereales y leguminosas para su aplicación en la formulación de alimentos para las personas de la tercera edad mejorando su calidad proteínica.

Particulares

- ♣ Diseñar las mezclas cereal-leguminosa en base a la calidad de las proteínas de las materias primas.
- ♣ Realizar las corridas experimentales del extrusor, en base a las variables propuestas de temperatura de proceso y humedad de la materia prima.
- ♣ Caracterizar las harinas precocidas de cereales-leguminosa seleccionadas en base a las variables de proceso, mediante digestibilidad *in vitro* de la proteína en crudo y después del proceso de extrusión y las propiedades funcionales: capacidad de absorción de agua y aceite e índice de solubilidad en agua.
- ♣ Diseñar y elaborar alimentos para el adulto mayor a partir de las harinas de mezclas de cereal-leguminosas extrudidas.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Materia prima

Se utilizaron 10 kg de cada una de las semillas mencionadas en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Materias primas empleadas en el experimento.

Nombre común	Nombre científico	Variedad	Procedencia
Maíz amarillo	<i>Zea mays</i> L.	V-55 A	INIFAP-CEVAMEX
Trigo	<i>Triticum sativum</i> L.	Tlaxcala	INIFAP- CEVAMEX
Avena	<i>Avena sativa</i> L.		Mercado la Merced (D.F).
Amaranto	<i>Amaranthus hypochondriacus</i>		Mercado la Merced (D.F).
Soya	<i>Glycine max</i>		Mercado la Merced (D.F).
Garbanzo	<i>Cicer arietinum</i> L.		Mercado la Merced (D.F).
Lenteja	<i>Ervum lens</i> L.		Mercado la Merced (D.F).
Frijol negro	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.	Jamapa	UACH-Fitotecnia

INIFAP: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental Valle de México. UACH: Universidad Autónoma Chapingo.

3.2 Materiales y reactivos

El material utilizado es el de uso común en laboratorio. Los reactivos utilizados fueron los indicados en cada uno de los métodos con la pureza analítica requerida.

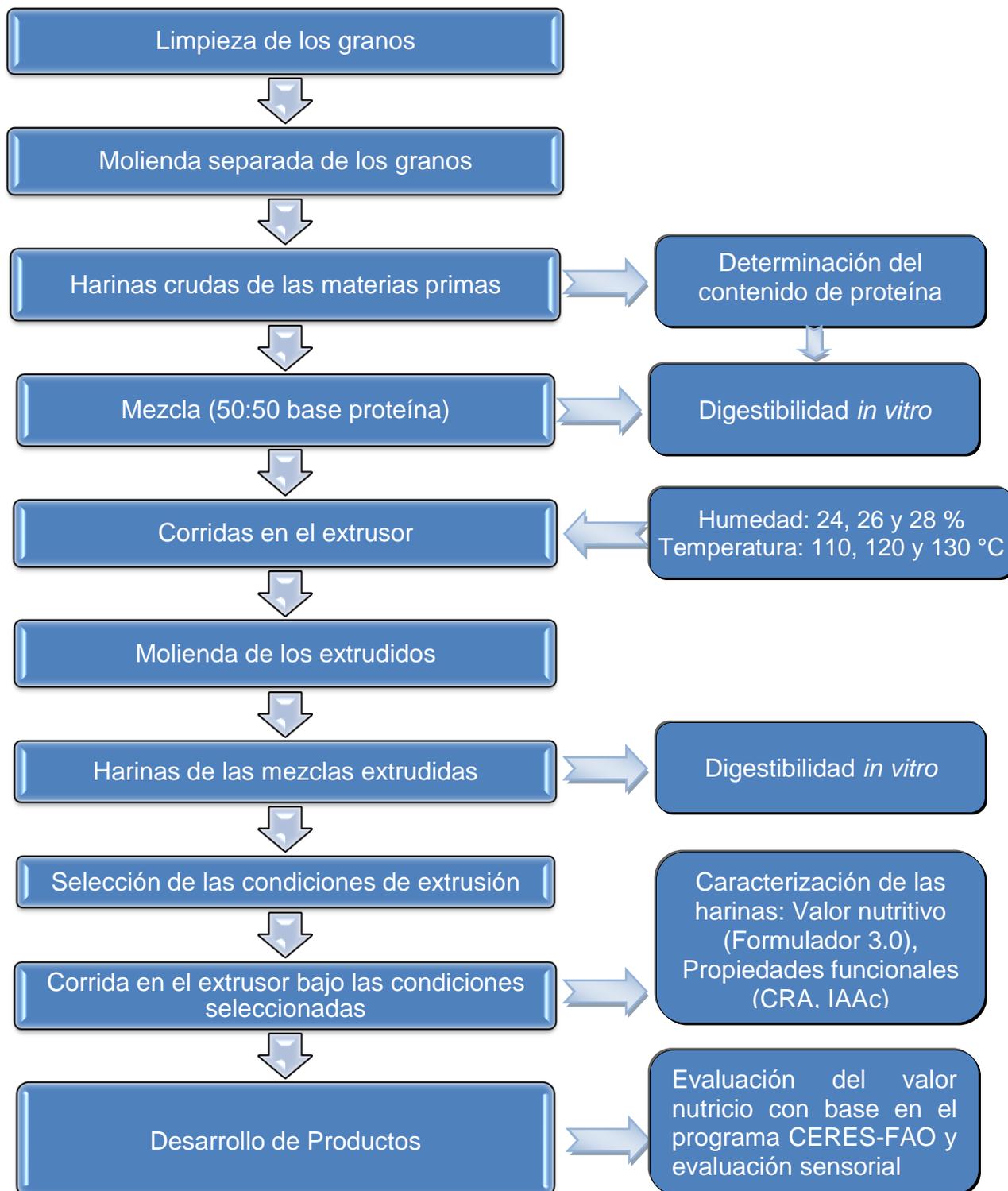
3.3 Equipos

- ♣ Balanza analítica marca A & D 50004.
- ♣ Mezcladora marca Hobart C-100.
- ♣ Termobalanza MA 45 Sartorius
- ♣ Molino de discos para granos marca Nixtamatic CGP-134M
- ♣ Extrusor Brabender modelo AEV 330 de un solo tornillo.
- ♣ Termoagitador marca Felisa modelo FE-313.
- ♣ Potenciómetro Thermo Orion 410.
- ♣ Centrífuga marca Astell Hearson

3.4 Métodos

3.4.1 Desarrollo experimental

El desarrollo experimental se realizó de acuerdo a la Figura 9.



CRA: Capacidad de Retención de Agua, IAAC: Índice de Absorción de Aceite.

Figura 9. Diagrama de bloques para la etapa experimental.

- ✓ **Limpieza de los granos:** Se eliminaron materiales extraños a cada una de las materias primas, así como granos enfermos.
- ✓ **Molienda de los granos:** Se realizó en forma separada en un molino de discos para granos (Figura 10).



Figura 10. Molienda de los granos por separado.

- ✓ **Determinación de proteína en las materias primas:** Mediante el método de Kjeldahl (AOAC, 1991; Figura 11), se pesó entre 0.5 y 1.0 g de muestra húmeda sobre papel libre de nitrógeno a peso constante, por triplicado. Posteriormente la muestra se colocó al fondo de un matraz Kjeldahl y se adicionaron aproximadamente 2.0 g de la mezcla de catalizadores y 15 mL de H_2SO_4 concentrado. El matraz se llevó a un digestor hasta la completa oxidación de la muestra (se forma una solución verde transparente); terminada la digestión se dejó enfriar el matraz y se añadieron 300 mL de agua para disolver el residuo, se agregaron granallas de zinc y una pequeña cantidad de antiespumante (parafina). Enseguida se agregaron lentamente 5 mL de NaOH al 40 % por cada mL de H_2SO_4 concentrado utilizado en la digestión más 10 mL de exceso por posible carbonatación de la sosa, conectando inmediatamente al sistema de destilación en cuya salida del refrigerante se colocaron 75 mL de ácido bórico al 4 % con 3 gotas de indicador de Wesselow. Una vez que el indicador viró de color, de violeta a verde se recolectaron aproximadamente 250 mL para garantizar la recuperación de todo el amoníaco. Finalmente el destilado se tituló con una solución de HCl 0.1 N (vire de verde a violeta).

Para los cálculos se utilizaron las siguientes relaciones:

$$\% \text{ de nitrógeno} = V \times N \times \text{meq} \times 100 / m \quad \text{donde:}$$

V = Mililitros de HCl gastados en la titulación;

N = Normalidad de la solución valorada de HCl

m = Peso de la muestra en gramos

meq = Mili equivalentes de nitrógeno, 0.014 g

El contenido de nitrógeno en diferentes proteínas es aproximadamente de 16 %, por lo que multiplicando el porcentaje de nitrógeno obtenido por el factor 6.25, se obtuvo la cantidad de proteínas presentes en cada una de las muestras.

$$\% \text{ Proteína} = \% \text{ nitrógeno} \times \text{factor}$$



Figura 11. Determinación de proteína por el método Kjeldahl.

- ✓ **Diseño de mezclas:** Investigaciones por parte de FAO (1993), indican que un mejor balance de aminoácidos para una dieta a base de cereales y leguminosas, se presenta cuando cada componente suministra el 50 por ciento del contenido de proteínas en el producto.
- ✓ **Digestibilidad *in vitro*:** se realizó en base al método de Hsu *et al.*, 1977 (Figura 12). Se preparó una solución multienzimática con: 1.6 mg tripsina, 3.1 mg quimotripsina y 1.3 mg peptidasa por mL. A esta solución se le ajustó el pH 8.0 con HCl 0.1 N/NaOH 0.1N en un baño de hielo, por separado se prepararon 50 mL de una suspensión acuosa de c/u de las muestras con 6.25 mg de proteína/mL, al igual que en el caso anterior, se ajustó a pH 8.0 con HCl 0.1 N/NaOH 0.1N en un baño maría a 37 °C. Un volumen de 5 mL de la solución multienzimática se

añadieron a la suspensión acuosa de la muestra. Se tomó el tiempo al realizar la mezcla con un cronómetro para posteriormente a los 10 minutos exactos medir el pH. Los cálculos se realizaron con la siguiente relación que presentan los autores en base a una regresión lineal:

$$Y = 210.46 - 18.103 X$$

Y = Digestibilidad *in vitro*, X = Valor de pH a los 10 minutos, 210.46 = Intersección con el eje "Y" y 18.103= pendiente de la recta



Figura 12. Sistema empleado para la determinación de digestibilidad en las muestras.

- ✓ **Corridas en el extrusor:** Lotes de grano entero de acuerdo a la cantidad requerida para las mezclas y obtener 3 kg, fueron fragmentados en un molino de discos (Nixtamatic). Posteriormente, se realizó la mezcla cereal-leguminosa en base a su contenido de proteína (en la mezcla se tuvo un aporte del 50 % de proteína de cereal y 50 % de la leguminosa) y se le determinó el porcentaje de humedad mediante el uso de la termobalanza. Considerando el contenido de humedad de la harina, se calculó la cantidad de agua requerida para llegar a las humedades del diseño. El agua purificada adicionada se hizo por aspersion y en una mezcladora Hobart (Figura 13). Cada uno de los tres lotes se empacó en bolsas de polietileno (tipo Ziploc[®]) y se almacenaron bajo refrigeración a 4 °C por 12 h. Antes de la extrusión las muestras se acondicionaron a temperatura ambiente durante 1 h y se dividieron en tres partes para procesar las variables de temperatura. En los Cuadros 13, 14, 15 y 16 se presenta la secuencia de corridas en el extrusor bajo las condiciones propuestas.

Cuadro 13. Corridas en el extrusor a las condiciones propuestas de la mezcla maíz-leguminosa.

Mezcla Cereal-Leguminosa	Humedad en materia prima (%)	Temperatura de proceso (°C)
Maíz-Garbanzo (50 %: 50 % Base proteína)	24	110
		120
		130
	26	110
		120
		130
	28	110
		120
		130
Maíz-Lenteja (50 %: 50 % Base proteína)	24	110
		120
		130
	26	110
		120
		130
	28	110
		120
		130
Maíz-Frijol (50 %: 50 % Base proteína)	24	110
		120
		130
	26	110
		120
		130
	28	110
		120
		130
Maíz-Soya (50 %: 50 % Base proteína)	24	110
		120
		130
	26	110
		120
		130
	28	110
		120
		130

Cuadro 14. Corridas en el extrusor a las condiciones propuestas de la mezcla trigo-leguminosa.

Mezcla Cereal-Leguminosa	Humedad en materia prima (%)	Temperatura de proceso (°C)
Trigo-Garbanzo (50 %: 50 % Base proteína)	24	110
		120
		130
	26	110
		120
		130
	28	110
		120
		130
Trigo-Lenteja (50 %: 50 % Base proteína)	24	110
		120
		130
	26	110
		120
		130
	28	110
		120
		130
Trigo-Frijol (50 %: 50 % Base proteína)	24	110
		120
		130
	26	110
		120
		130
	28	110
		120
		130
Trigo-Soya (50 %: 50 % Base proteína)	24	110
		120
		130
	26	110
		120
		130
	28	110
		120
		130

Cuadro 15. Corridas en el extrusor a las condiciones propuestas de la mezcla avena-leguminosa.

Mezcla Cereal-Leguminosa	Humedad en materia prima (%)	Temperatura de proceso (°C)
	24	110
		120
		130
Avena-Garbanzo (50 %: 50 % Base proteína)	26	110
		120
		130
	28	110
		120
		130
Avena-Lenteja (50 %: 50 % Base proteína)	26	110
		120
		130
	28	110
		120
		130
Avena-Frijol (50 %: 50 % Base proteína)	26	110
		120
		130
	28	110
		120
		130
Avena-Soya (50 %: 50 % Base proteína)	26	110
		120
		130
	28	110
		120
		130

Cuadro 16. Corridas en el extrusor a las condiciones propuestas de la mezcla amaranto-leguminosa.

Mezcla Cereal-Leguminosa	Humedad en materia prima (%)	Temperatura de proceso (°C)
Amaranto-Garbanzo (50 %: 50 % Base proteína)	24	110
		120
		130
	26	110
		120
		130
	28	110
		120
		130
Amaranto-Lenteja (50 %: 50 % Base proteína)	24	110
		120
		130
	26	110
		120
		130
	28	110
		120
		130
Amaranto-Frijol (50 %: 50 % Base proteína)	24	110
		120
		130
	26	110
		120
		130
	28	110
		120
		130
Amaranto-Soya (50 %: 50 % Base proteína)	24	110
		120
		130
	26	110
		120
		130
	28	110
		120
		130



Figura 13. Mezcladora empleada para la humectación de las materias primas.

La extrusión se llevó a cabo en un extrusor de laboratorio Brabender modelo AEV 330 de un solo tornillo (Figura 14), de acuerdo a las condiciones de extrusión propuestos en el Cuadro 17.

Cuadro 17. Condiciones de operación durante el proceso de extrusión y respuestas a evaluar en las harinas de cereales y leguminosas.

Condiciones de proceso fijas	Diámetro de salida (mm)	9
	Tornillo con una relación de compresión	1:1
	Velocidad de rotación del tornillo (rpm)	70
	Temperatura de alimentación (°C)	75
	Temperatura de salida (°C)	90
Variables del proceso	Temperatura de transición o proceso (°C)	110, 120 y 130
	Humedad de la materia prima (%)	24, 26 y 28
Respuesta a evaluar	Digestibilidad <i>in vitro</i> de la proteína	-----

Además durante el proceso de extrusión se evaluaron las variables de tiempo de retención y velocidad del flujo de alimentación, siguiendo las metodologías siguientes:

- a) Determinación de la velocidad de alimentación: Para determinar esta variable, se pesó la cantidad de producto extrudido que salía en un período de 15 segundos, realizándose por duplicado la determinación. Posteriormente se convirtió a kg h^{-1} .
- b) Determinación del tiempo de residencia: Se agregó una pequeña cantidad de colorante rojo 5 en la parte de alimentación del extrusor y se tomó el tiempo que tardaba en salir el colorante.



Figura 14. Extrusor empleado en el desarrollo de la tesis.

✓ **Caracterización de las harinas seleccionadas:**

- a) Valor nutritivo: El valor nutricional de cada una de las mezclas se realizó en base a las cantidades que se agregaron del cereal y de la leguminosa, con la ayuda del programa Formulator 3.0, el cual partiendo de una base de datos con la composición de las materias primas y los requerimientos deseados (nutricionales o de otra índole), genera un modelo matemático de programación lineal que propone una formulación con calidad óptima de proteína, costo mínimo, o ambas (IIIA, Cuba, 2007).
- b) Propiedades funcionales. Se evaluaron la capacidad de retención de agua (CRA) e índice de absorción de aceite (IAAc) (Figura 15): **La capacidad de retención de agua** se determinó utilizando el método propuesto por McConell *et al.*, (1974). Una muestra de 1 g se colocó en un tubo de centrifuga, previamente a peso constante; se agregó agua en exceso (~13 mL), se agitó para homogeneizar y se dejó en reposo por 24 horas. Se centrifugó a 2 000 xg por 15 minutos y se

desechó el sobrenadante para poder pesar el tubo con el precipitado. **Para el índice de absorción de aceite**, se utilizó la metodología descrita por Anderson *et al.* (1969). Una porción de 1 a 2 g de cada muestra se suspendió en 10 mL de aceite de cocina comercial en un tubo de centrifuga a peso constante de 15 mL. La suspensión se homogeneizó con una varilla de vidrio, por 1 minuto a 25 °C, para posteriormente ser centrifugado a 3 000 xg a la misma temperatura por 10 minutos. El sobrenadante se separó y el precipitado se pesó. El IAAC se calculó a partir del peso del precipitado y se expresó en g gel/g sólidos.

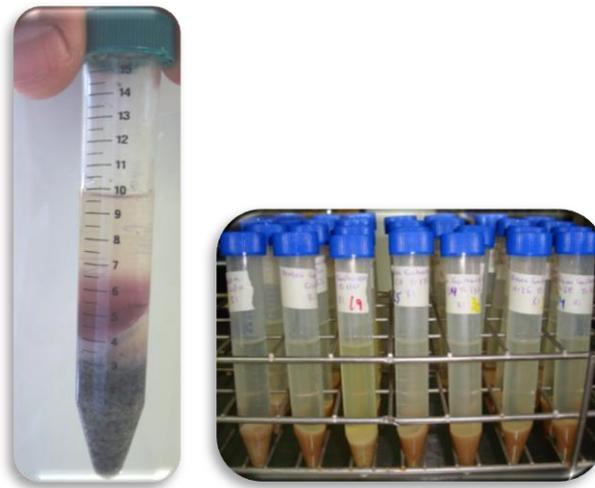


Figura 15. Determinación de la capacidad de retención de agua y del índice de absorción de aceite.

3.4.2 Desarrollo de productos

3.4.2.1 Tamal y galletas con base en mezclas de maíz con leguminosas

Para las mezclas de maíz con las leguminosas (lenteja, garbanzo, soya y frijol), se elaboraron galletas utilizando como ingredientes huevo, mantequilla, leche entera en polvo, azúcar, frutas deshidratadas (duraznos, manzanas y nueces) y polvo para hornear. También se elaboraron tamales, empleando como ingredientes: manteca de cerdo, caldo de pollo, sal, royal y el relleno (cochinita pibil, elote con queso Oaxaca, mole y champiñones a la mexicana).

3.4.2.2 Panques con base en mezclas de avena con leguminosas

Para las mezclas de avena con las leguminosas (lenteja, garbanzo, soya y frijol), se elaboraron panques empleando como ingredientes; según características de cada una de las harinas: agua, azúcar mascabado, mantequilla, chispas de chocolate, huevo, cocoa, azúcar refinada, leche entera en polvo, polvo para hornear, glúten, sal, bicarbonato, jugo de piña, salvado, pasas, miel de abeja, aceite comestible de maíz, calabacitas, harina de trigo, nuez picada, piloncillo, canela molida, allspice (pimienta gorda molida), arándanos deshidratados y vainilla.

3.4.2.3 Pizzas con base en las mezclas de trigo con leguminosas

Para las mezclas de trigo con las leguminosas (lenteja, garbanzo, soya y frijol), se elaboraron pizzas empleando como ingredientes: agua, sal, azúcar, levadura, aceite de oliva, huevo, salsa de tomate, queso mozzarella, frijoles refritos, cebolla, chiles en vinagre, chorizo, champiñón, pimienta verde, ajo en polvo, glúten, bicarbonato, peperoni y salami.

3.4.2.4 Análisis sensorial

El objetivo de esta prueba es cuantificar la preferencia de los sujetos por un producto midiendo cuánto les gustó o les disgustó, es decir, el grado de satisfacción. Una vez realizados los productos, se realizó una evaluación afectiva de nivel de agrado con 80 jueces no entrenados, con una edad de 65 ± 10 años. Para llevar a cabo las medidas de aceptación se utilizaron escalas hedónicas que miden el grado de placer o rechazo que produce el alimento (Ibáñez y Barcina. 2001). En este caso se utilizó una escala de 7 puntos, en donde 1 equivale a me disgusta mucho y 7 a me gusta mucho (Figura 16). La muestra se sirvió dependiendo de sus características: en el caso de las galletas y los panques se brindó un producto completo, mientras que para los tamales y las pizzas se sirvió una muestra de aproximadamente 15 g.

A partir de los resultados obtenidos de los cuestionarios se obtuvieron los estadísticos básicos mediante el uso del Minitab V15, así como los gráficos correspondientes.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS BIOLÓGICAS
MAESTRÍA EN CIENCIAS DE ALIMENTOS



Instrucciones: Pruebe la muestra de _____ que se le presenta e indique, de acuerdo a la siguiente escala, su opinión sobre ella marcando una casilla correspondiente.

Edad: _____

7 Me gusta mucho	
6 Me gusta	
5 Me gusta ligeramente	
4 Ni me gusta ni me disgusta	
3 Me disgusta ligeramente	
2 Me disgusta	
1 Me disgusta mucho	

¿Compraría usted el producto? Sí ___ No ___

Comentarios: _____

Gracias por participar 😊

Figura 16. Cuestionario de la evaluación sensorial afectiva de nivel de agrado empleado.

3.4.3 Análisis estadísticos

Se realizó un análisis de varianza de 1 vía con un nivel de significancia del 5% y la prueba de Tuckey, con el programa estadístico SAS Versión 9.0.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Composición química

4.1.2 Contenido de proteína de las materias primas

En el Cuadro 18, se presenta el contenido de proteína en los cereales a utilizar en el trabajo, los cuales se ordenaron de menor a mayor contenido de proteína, siendo el maíz amarillo el de más bajo valor con un 9.22 % y el amaranto el de más alto contenido de proteína con 17.90 %.

Cuadro 18. Contenido de proteína obtenido en los cereales.

Cereal	Proteína g/100 g	Tablas de nutrición*
Maíz	9.22 ± 0.15	9.42
Avena	14.44 ± 0.25	16.89
Trigo	15.76 ± 0.37	10.60
Amaranto	17.90 ± 0.12	14.45

El valor mostrado representa el promedio de tres repeticiones. Factor de conversión de 6.25.

* Muñoz, 2010.

Los valores encontrados de proteínas para cada uno de los cereales son congruentes con lo reportado en la bibliografía, así Salinas *et al* (2008) reportaron un contenido de proteína para maíz amarillo de 8.4 a 9.6 % y Muñoz (2010) un valor de 9.42 %. Para el caso de la avena se informan valores desde 10.7 % hasta 15.0 % (Bhatia y Rabson, 1987; Wehrhahne, 2005) y Muñoz (2010) reporta un valor de 16.89 %. Para el amaranto Bressani (1989) encontró un intervalo de 12.7 a 17.9 % y Muñoz (2010) 14.45 %. Para el trigo, Espitia *et al* (2003), reportan valores de 11.8 a 13.9 % y Muñoz (2010) 14.45 %.

En el Cuadro 19, se reportan los valores de proteína encontrados para las cuatro leguminosas de estudio, ordenados de menor a mayor contenido de proteína, siendo el garbanzo el de menor contenido con 21.88 % y la soya el de mayor contenido de proteína con un 36.49 %.

Cuadro 19. Contenido de proteína obtenido en las leguminosas

Leguminosa	Proteína g/100 g	Tablas de nutrición*
Garbanzo	21.88 ± 0.13	22.39
Frijol	23.73 ± 0.26	22.50
Lenteja	25.46 ± 0.16	25.80
Soya	36.33 ± 0.13	36.49

El valor mostrado representa el promedio de tres repeticiones. Factor de conversión de 6.25. * Muñoz, 2010.

De las leguminosas, la soya es la más rica en proteínas, para la cual Aykroyd y Doughty (1964) reportaron un contenido en el intervalo de 38 a 40 % y Muñoz (2010) informa un valor de 36.49 % muy cercano al encontrado. A su vez para la lenteja Silva-Cristobal (2007) informa un valor de 22.40 %, aunque menciona que Hedley (2001) encontró un contenido proteico en el intervalo de 20.0 a 27.8 % y Muñoz (2010) presenta un dato de 25.80 % cercano al que se encontró en el material de estudio. El frijol negro Jamapa presenta un contenido de proteína de 22.4 % según Ortega *et al* (1996), aunque Jacinto y Campos (1993) encontraron un 24.2 % para la misma variedad y Muñoz (2010) 36.49 %, cercano al encontrado. Para el garbanzo, Soltero *et al* (2008) dan un contenido del 21.80 % de proteína, mientras que Morales *et al.*, (2000) mencionan que es 20% y Muñoz (2010) reporta un valor de 22.39 %.

4.1.2 Diseño de las mezclas cereal-leguminosa (50:50 base proteína)

De acuerdo al contenido de proteína de cada uno de los materiales de estudio, se calcularon las cantidades a utilizar en cada mezcla para llegar a un aporte del 50:50 en base al porcentaje de proteína, dando lugar a la información presentada en el Cuadro 20. En él se observa que el maíz y el garbanzo al ser los materiales con menos contenido de proteína en cada grupo, son los que en mayor cantidad se requieren para cubrir con el 50 % de proteína en sus mezclas, caso contrario con el amaranto y la soya que requieren menores cantidades para cubrir su 50 % de proteína.

Cuadro 20. Diseño de las mezclas en base a un aporte del 50 %: 50 % de proteína cereal: leguminosa

Mezcla	Porcentajes
Maíz : Garbanzo	70 : 30
Maíz : Frijol	72 : 28
Maíz : Lenteja	73 : 27
Maíz : Soya	80 : 20
Avena : Garbanzo	61 : 39
Avena : Frijol	63 : 37
Avena : Lenteja	63 : 37
Avena : Soya	73 : 27
Trigo : Garbanzo	59 : 41
Trigo : Frijol	61 : 39
Trigo : Lenteja	59 : 41
Trigo : Soya	72 : 28
Amaranto : Garbanzo	56 : 44
Amaranto : Frijol	58 : 42
Amaranto : Lenteja	56 : 44
Amaranto : Soya	69 : 31

4.1.3 Valor nutritivo de las mezclas cereal-leguminosas en base al 50:50 de proteína

4.1.3.1 Mezclas maíz-leguminosas

En el Cuadro 21, se presenta el valor nutricional de las mezclas de maíz-leguminosa que se obtuvo con el software Formulador 3.0 (IIIA, Cuba, 2007), en el cual se puede observar que al realizar las mezclas se logran aumentar algunos componentes nutricionales en comparación a la composición del maíz. En proteína, es un 14.3 % para la mezcla maíz-garbanzo, 35.6 % para la mezcla maíz-lenteja, 24.5 % en la mezcla maíz-frijol y 37.9 % para la mezcla maíz-soya; en tiamina (B1), se aumenta en un 23.5 % en las mezclas maíz-garbanzo y maíz-lenteja, 26.5 % en la mezcla maíz-frijol y 44.1 % en la mezcla maíz-soya; en riboflavina (B2) se logra mejorar en un

150.0 % en la mezcla maíz-garbanzo, 162.5 % en la mezclas maíz-lenteja y maíz-frijol y 312.5 % en la mezcla maíz-soya; en niacina (B3) los ganancias son de 87.5, 110.0, 99.4 y 101.9 % para las mezclas maíz-garbanzo, maíz-lenteja, maíz-frijol y maíz-soya, respectivamente; en ácido pantoténico los aumentos fueron de 81.4 % en la mezcla maíz-garbanzo, 88.37 % en la mezcla maíz-lenteja, 23.36 % en la mezcla maíz-frijol y 16.28 % para maíz-soya; en ácido fólico fue donde se tuvo los mayores aumentos con 778.8 % para maíz-garbanzo, 515.1 % en maíz-lenteja, 480.8 % para maíz-frijol y 294.8 % en la mezcla maíz-soya; en hierro las mejoras fueron de 56.5 % para maíz-garbanzo, 82.7 % en la mezcla maíz-lenteja, 76.4 % para maíz-frijol, 117.7 % para maíz-soya; en fósforo se tuvo ganancias de 18.5 % en la mezcla maíz-garbanzo, 27.0 % en maíz-lenteja, 22.33 % en la mezcla maíz-frijol y 16.28 % en maíz-soya; en potasio los aumentos fueron de 63.2, 59.8, 111.4 y 107.4 % para las mezclas maíz-garbanzo, maíz-lenteja, maíz-frijol y maíz-soya, respectivamente. A su vez, al realizar las mezclas maíz-leguminosas, el aporte de carbohidratos por parte de la leguminosa en la mezcla final fue de 27.8 % en la mezcla maíz-garbanzo, 24.2 % en la mezcla maíz-lenteja, 25.9 % en la mezcla maíz-frijol y 12.0 % en la mezcla maíz-soya.

En el Cuadro 22, se presenta a detalle el balance en aminoácidos indispensables de cada mezcla maíz-leguminosa; comparándolo con los requerimientos de aminoácidos para el grupo de adultos mayores, además de considerar como un valor mínimo aceptable en el cómputo de aminoácidos de 0.80 (Araya *et al.*, 1991), se observa que todas las mezclas cumplen con esa condición a excepción de la mezcla de maíz-lenteja, que presenta un déficit del 22.09 % en el aminoácido triptófano. También se puede apreciar que los aminoácidos mayoritarios en las cuatro mezclas son: histidina, leucina, azufrados (metionina y cisteína) y aromáticos (fenilalanina y tirosina). Lográndose así una mejor complementación en las cuatro mezclas de harinas maíz-leguminosas, ya que por sí solas presentan deficiencias en el caso del maíz de lisina y triptófano, garbanzo de triptófano y valina, lenteja de metionina y triptófano, frijol de metionina y la soya es la que no presenta déficit.

Cuadro 21. Valor nutricional del maíz y sus mezclas con las leguminosas en 100 g de mezcla.

Característica	Unidad	Maíz	Maíz- Garbanzo	Maíz- Lenteja	Maíz- Frijol	Maíz- Soya
Energía	Kc	365.00	362.60	355.52	353.88	372.80
Proteína total	g	9.42	10.77	12.77	11.73	12.99
Digestibilidad	%	85.00	81.23	80.84	81.06	81.07
Hidratos de Carbono	g	74.26	72.02	71.54	72.16	67.54
Grasa total	g	4.74	4.33	2.88	2.82	6.86
Agua	g	10.80	10.64	10.51	10.68	9.92
Cenizas	g	0.78	1.54	1.55	1.89	1.88
Ác. Grasos saturados	g	0.60	0.55	0.41	0.40	0.98
Ác. Grasos Monoinsaturado	g	1.30	1.07	0.74	0.70	1.64
Ác. Grasos poliinsaturados	g	2.50	1.96	1.32	1.31	3.56
Fibra dietética insoluble	g	1.84	1.92	3.08	2.91	2.50
Ácido Ascórbico (C)	mg	0.00	1.20	1.67	1.26	1.20
Tiamina (B1)	mg	0.34	0.42	0.42	0.43	0.49
Riboflavina (B2)	mg	0.08	0.20	0.21	0.21	0.33
Niacina (B3)	mg	1.60	3.00	3.36	3.19	3.23
Ácido Pantoténico	mg	0.43	0.78	0.81	0.53	0.50
Vitamina B6	mg	0.62	0.37	0.36	0.33	0.32
Ácido fólico	µg	19.00	166.98	116.86	110.35	75.02
Vitamina A	µg	47.00	35.00	35.39	34.12	38.00
Calcio	mg	158.00	35.70	18.15	44.36	60.20
Hierro	mg	2.71	4.29	4.95	4.78	5.90
Magnesio	mg	147.00	123.40	121.60	130.64	157.60
Fósforo	mg	235.00	278.50	298.51	287.48	333.60
Potasio	mg	284.00	463.40	453.86	600.32	589.00
Sodio	mg	1.00	31.70	28.25	31.92	28.40
Zinc	mg	2.21	2.30	2.30	2.09	2.43
Cobre	mg	0.19	0.39	0.37	0.41	0.48
Manganeso	mg	0.50	1.01	0.75	0.65	0.90
Fitoesterol	mg	0.00	10.50	0.00	35.56	32.20

Fuente: obtenido con el software Formulador 3.0 (IIIA, Cuba, 2007).

Cuadro 22. Balance de aminoácidos indispensables de las mezclas maíz-leguminosas.

Aminoácido	Patrón (mg/g proteína)	Mezcla maíz con (mg/g proteína)				Cómputo de AA [†]			
		Gar	Len	Fri	Soy	Gar	Len	Fri	Soy
Histidina	17.0	30.90	30.87	30.89	30.42	1.82	1.82	1.82	1.79
Isoleucina	42.0	41.97	42.25	42.71	45.16	1.00	1.01	1.02	1.08
Leucina	70.0	102.97	99.91	106.08	107.06	1.47	1.43	1.52	1.53
Lisina	51.0	50.76	54.39	52.63	51.43	1.00	1.07	1.03	1.01
Azufrados	26.0	34.79	30.87	33.99	36.08	1.34	1.19	1.31	1.39
Aromáticos	73.0	89.49	86.74	91.04	95.44	1.23	1.19	1.25	1.31
Treonina	35.9	39.76	38.69	42.40	43.18	1.11	1.08	1.18	1.20
Triptófano	11.0	8.85	8.57	10.16	11.67	0.80	0.78*	0.92	1.06
Valina	48.0	49.23	52.91	33.25	53.33	1.03	1.10	1.14	1.11

Gar = garbanzo; Len = lentej; Fri = frijol; Soy = soya; Patrón= Requerimientos para personas adultas, de la National Academy of Sciences (1980) y utilizado por el software Formulador 3.0; [†]Cómputo de AA: mg de aminoácidos en proteína en estudio/ mg de aminoácidos en proteína patrón (Suárez *et al.*, 2006). * Déficit en aminoácido.

Fuente: obtenido con el software Formulador 3.0 (IIIA, Cuba, 2007).

4.1.3.2 Mezclas amaranto-leguminosas

Para las mezclas de amaranto-leguminosas, en el Cuadro 23, se presentan a detalle los valores nutricionales de las cuatro mezclas. Al realizar la mezcla se logra aumentar el contenido de algunos componentes nutricionales con relación al amaranto. En proteína un 14.7 % para la mezcla amaranto-garbanzo, 41.5 % para amaranto-lenteja, 30.3 % en la mezcla amaranto-frijol y 47.3 % para la mezcla amaranto-soya; en tiamina (B1) las mejoras fueron de 225.0 % en las mezclas amaranto-garbanzo y amaranto-lenteja, 275.0 % en la mezcla amaranto-frijol y 312.5 % en la mezcla amaranto-soya; En riboflavina (B2) la mezcla amaranto-soya aumentó un 100 %; en vitamina B6 las ganancias fueron de 63.6 % en las mezclas amaranto-garbanzo y amaranto-lenteja, 40.9 % en amaranto-frijol y 22.73 % en amaranto-soya; en ácido pantoténico un 22.9 % en la mezcla amaranto-garbanzo y 33.3 % para la mezcla amaranto-lenteja; en ácido fólico los aumentos fueron los mayores con 457.8, 344.6, 338.1 y 206.3 % para amaranto-garbanzo, amaranto-lenteja, amaranto-frijol y

amaranto-soya, respectivamente; en vitamina A, el amaranto no presenta y en las mezclas tuvieron las cantidades de 3.08, 1.76, 0.48 y 0.62 μg en 100 g de la harina de las mezclas amaranto-garbanzo, amaranto-lenteja, amaranto-frijol y amaranto-soya, respectivamente; en calcio y fósforo, la mezcla amaranto soya aumentó en un 25.5 % y 17.0 %, respectivamente; en potasio 61.2 % en la mezcla amaranto-garbanzo, 64.8 % en la mezcla amaranto-lenteja, 136.4 % en la mezcla amaranto-frijol y 121.2 % en la mezcla amaranto-soya; en fitoesterol 20.2 % para amaranto-garbanzo, 206.0 % en amaranto-frijol y 177.0 % en amaranto-soya. A su vez, al realizar las mezclas amaranto-leguminosas, el aporte de carbohidratos por parte de la leguminosa fue de 46.57 % en la mezcla amaranto-garbanzo, 40.40 % en la mezcla amaranto-lenteja, 39.28 % en la mezcla amaranto-frijol y 16.98 % en la mezcla amaranto-soya.

En cuanto al balance de aminoácidos indispensables, se tiene que todas las mezclas logran cubrir las necesidades de aminoácidos de las personas adultas (ver, Cuadro 24). Siendo los aminoácidos predominantes en las cuatro mezclas: histidina y lisina. Lo anterior solamente se cumplía en el caso de la soya, ya que en los demás existía la deficiencia en al menos un aminoácido dispensable.

Cuadro 23. Valor nutricional del amaranto y sus mezclas con las leguminosas en 100 g de mezcla.

Característica	Unidad	Ama	Ama-Gar	Ama-Len	Ama-Fri	Ama-Soya
Energía	kc	374.00	369.60	358.16	354.32	387.02
Proteína total	g	14.45	16.58	20.44	18.83	21.28
Digestibilidad	%	95.00	86.29	84.73	84.78	85.96
Hidratos de Carbono	g	66.17	63.75	62.18	63.21	55.00
Grasa total	g	6.51	6.30	4.07	3.78	10.67
Agua	g	9.84	10.58	10.43	10.76	9.44
Cenizas	g	3.04	2.79	2.89	3.42	3.61
Ác. Grasos saturados	g	1.66	1.21	0.99	0.92	2.04
Ác. Grasos Monoinsaturado	g	1.43	1.40	0.87	0.77	2.35
Ác. Grasos poliinsaturados	g	2.89	2.80	1.82	1.72	5.49
Fibra dietética insoluble	g	6.70	2.82	5.02	4.99	3.88
Ácido Ascórbico (C)	mg	4.20	4.11	5.08	4.34	4.76
Tiamina (B1)	mg	0.08	0.26	0.26	0.30	0.33
Riboflavina (B2)	mg	0.21	0.21	0.23	0.22	0.42
Niacina (B3)	mg	1.29	1.40	1.88	1.66	1.39
Ácido Pantoténico	mg	1.05	1.29	1.40	0.92	0.97
Vitamina B6	mg	0.22	0.36	0.36	0.31	0.27
Ácido fólico	µg	49.00	273.34	217.87	214.65	150.09
Vitamina A	µg	0.00	3.08	1.76	0.48	0.62
Calcio	mg	153.00	131.88	108.12	148.20	191.44
Hierro	mg	7.59	7.00	8.22	7.88	10.10
Magnesio	mg	266.00	199.56	196.04	205.52	270.34
Fósforo	mg	455.00	415.84	454.56	431.96	532.19
Potasio	mg	366.00	589.96	603.16	865.20	809.61
Sodio	mg	21.00	22.32	16.16	22.44	15.11
Zinc	mg	3.18	3.29	3.37	2.99	3.71
Cobre	mg	0.78	0.81	0.81	0.87	1.05
Manganeso	mg	2.26	2.23	1.90	1.67	2.34
Fitoesterol	mg	24.00	28.84	13.44	73.44	66.47

Ama = amaranto, Gar = garbanzo, Len = lenteja y Fri = frijol

Fuente: obtenido con el software Formulador 3.0 (IIIA, Cuba, 2007).

Cuadro 24. Balance de aminoácidos indispensables de las mezclas amaranto-leguminosas.

Aminoácido	Patrón (mg/g proteína)	Mezcla (mg/g proteína)				Cómputo de AA [†]			
		Gar	Len	Fri	Soy	Gar	Len	Fri	Soy
Histidina	17.0	27.23	27.67	27.46	26.94	1.60	1.63	1.62	1.58
Isoleucina	42.0	41.62	42.04	42.60	44.65	0.99	1.00	1.01	1.06
Leucina	70.0	66.13	67.87	72.24	71.79	0.94	0.97	1.03	1.03
Lisina	51.0	59.47	62.6	61.87	59.60	1.17	1.23	1.21	1.17
Azufrados	26.0	27.66	24.48	27.08	29.25	1.06	0.94	1.04	1.13
Aromáticos	73.0	69.21	69.51	73.19	75.76	0.95	0.95	1.00	1.04
Treonina	35.9	37.84	36.95	40.69	41.18	1.05	1.03	1.13	1.15
Triptófano	11.0	11.02	10.36	12.11	13.59	1.00	0.94	1.10	1.24
Valina	48.0	44.39	48.57	50.18	48.53	0.92	1.01	1.05	1.01

Gar = garbanzo; Len = lentej; Fri = frijol; Soy = soya; Patrón= Requerimientos para personas adultas, de la National Academy of Sciences (1980) y utilizado por el software Formulador 3.0; [†]Cómputo de AA: mg de aminoácidos en proteína en estudio/ mg de aminoácidos en proteína patrón (Suárez *et al.*, 2006). * Déficit en aminoácido.

Fuente: obtenido con el software Formulador 3.0 (IIIA, Cuba, 2007).

4.1.3.3 Mezclas avena-leguminosas

Para las mezclas de avena-leguminosas, en el Cuadro 25, se observa que al realizar las mezclas se logró subir el contenido de algunos componentes nutricionales con relación al de la avena. En la proteína un 5.6 % para la mezcla avena-garbanzo, 24.5 % para avena-lenteja, 14.7 % en la mezcla avena-frijol y 33.5 % para avena-soya; en la riboflavina (B2) 21.4 % para avena-garbanzo, 28.6 % en avena-lenteja y 200 % para la mezcla avena-soya; en niacina (B3) las ganancias fueron de 24.0, 63.5, 42.7 y 94.8 % en las mezclas avena-garbanzo, avena-lenteja, avena-frijol y avena-soya, respectivamente; en ácido pantoténico los aumentos fueron de 6.7 % en avena-garbanzo, 14.1 % en avena-lenteja y 5.2 % en avena-soya; en ácido fólico los aumentos fueron de 348.6 % en avena-garbanzo, 249.0 % en avena-lenteja, 223.4 % en avena-frijol y 139.3 % en avena-soya; en vitamina A, la avena no presentó y en las mezclas se tuvieron valores de 2.73, 1.48, 0.37 y 3.24 µg en 100 g de harina de las mezclas avena-garbanzo, avena-lenteja, avena-frijol y avena-soya, respectivamente;

en calcio la mezcla avena-garbanzo aumentó un 36.9 % y la mezcla avena-soya 76.0 %; en hierro las mejoras fueron de 12.5 % en la mezcla avena-garbanzo, 33.7 % en la de avena-lenteja, 27.3 % para avena-frijol y 9.5 % en la de avena-soya; en potasio 40.6 % para avena-garbanzo, 41.1 % en la de avena-lenteja, 84.3 % para avena-soya; en fitoesterol, la avena no presenta y las mezclas avena-garbanzo y avena frijol presentaron valores de 13.65 y 46.99 mg en 100 g de harina de las mezclas, repectivamente. A su vez, al realizar las mezclas avena-leguminosas, el aporte de carbohidratos por parte de la leguminosa es de 36.92 % en la mezcla avena-garbanzo, 33.59 % en avena-lenteja, 34.71 % en avena-frijol y 15.12 % en avena-soya.

En cuanto al balance de aminoácidos indispensables, se tiene que las cuatro mezclas de avena-leguminosas cumplen con los requerimientos del patrón de FAO para adultos mayores (ver Cuadro 26); lo cual las harinas por sí solas no cumplían, a excepción de la soya.

Cuadro 25. Valor nutricional de la avena y sus mezclas con las leguminosas en 100 g de mezcla.

Característica	Unidad	Avena	Avena-Garbanzo	Avena-Lenteja	Avena-Frijol	Avena-Soya
Energía	kc	389.00	379.25	370.13	371.24	400.88
Proteína total	g	16.89	17.83	21.02	19.37	22.54
Digestibilidad	%	95.00	87.82	86.61	87.71	87.30
Hidratos de Carbono	g	66.27	64.08	62.87	63.95	57.00
Grasa total	g	6.90	6.57	4.70	4.73	10.61
Agua	g	8.22	9.51	9.32	9.53	7.39
Cenizas	g	1.72	2.02	2.08	1.72	2.46
Ác. Grasos saturados	g	1.22	0.99	0.82	0.92	1.70
Ác. Grasos Monoinsaturado	g	2.18	1.86	1.43	1.54	2.82
Ác. Grasos poliinsaturados	g	2.53	2.59	1.76	1.64	5.00
Fibra dietética insoluble	g	6.60	2.50	4.22	4.88	2.88
Ácido Ascórbico (C)	mg	0.00	1.56	2.29	1.15	0.00
Tiamina (B1)	mg	0.76	0.65	0.66	0.50	0.71
Riboflavina (B2)	mg	0.14	0.17	0.18	0.11	0.42
Niacina (B3)	mg	0.96	1.19	1.57	1.37	1.87
Ácido Pantoténico	mg	1.35	1.44	1.54	1.14	1.42
Vitamina B6	mg	0.12	0.28	0.27	0.22	0.21
Ácido fólico	µg	56.00	251.23	195.42	181.10	134.03
Vitamina A	µg	0.00	2.73	1.48	0.37	3.24
Alfa tocoferol E	mg	1.09	0.67	0.69	0.69	0.80
Tocoferol total	mg	1.09	0.67	0.69	0.69	0.80
Calcio	mg	54.00	73.89	52.89	54.74	95.04
Hierro	mg	4.72	5.31	6.31	6.01	5.17
Magnesio	mg	177.00	152.82	151.10	163.31	245.04
Fósforo	mg	523.00	461.77	497.47	480.08	515.17
Potasio	mg	429.00	602.94	605.12	790.49	992.22
Sodio	mg	2.00	10.58	4.96	10.14	4.97
Zinc	mg	3.97	3.76	3.84	4.67	3.96
Cobre	mg	0.63	0.72	0.71	0.49	1.25
Manganeso	mg	4.92	3.86	3.63	3.28	4.21
Fitoesterol	mg	0.00	13.65	0.00	46.99	0.00

Fuente: obtenido con el software Formulador 3.0 (IIIA, Cuba, 2007).

Cuadro 26. Balance de aminoácidos indispensables de las mezclas avena-leguminosas.

Aminoácido	Patrón (mg/g proteína)	Mezcla (mg/g proteína)				Cómputo de AA [†]			
		Gar	Len	Fri	Soy	Gar	Len	Fri	Soy
Histidina	17.00	25.47	26.04	25.71	24.27	1.50	1.53	1.51	1.43
Isoleucina	42.00	41.85	42.13	42.47	42.55	1.00	1.00	1.01	1.01
Leucina	70.00	73.98	74.28	77.73	75.28	1.06	1.06	1.11	1.08
Lisina	51.00	52.22	55.45	53.71	50.24	1.02	1.09	1.05	0.99
Azufrados	26.00	35.83	32.25	35.09	35.56	1.38	1.24	1.35	1.37
Aromáticos	73.00	83.31	81.53	84.81	84.79	1.14	1.12	1.16	1.16
Treonina	35.90	35.33	34.94	37.66	36.60	0.98	0.97	1.05	1.02
Triptófano	11.00	12.06	11.43	12.94	13.59	1.10	1.04	1.18	1.24
Valina	48.00	49.76	52.58	54.04	51.00	1.04	1.10	1.13	1.06

Gar = garbanzo; Len = lentej; Fri = frijol; Soy = soya; Patrón= Requerimientos para personas adultas, de la National Academy of Sciences (1980) y utilizado por el software Formulador 3.0; [†]Cómputo de AA: mg de aminoácidos en proteína en estudio/ mg de aminoácidos en proteína patrón (Suárez *et al.*, 2006). * Déficit en aminoácido.

Fuente: obtenido con el software Formulador 3.0 (IIIA, Cuba, 2007).

4.1.3.4 Mezclas trigo-leguminosas

En el Cuadro 27, se presentan las mezclas trigo-leguminosas. Se observa que la mezcla presenta aumentos de algunos componentes nutricionales, respecto a la composición de la harina de maíz. En proteína mejora el contenido en un 34.9 % para la mezcla trigo-garbanzo, 63.4 % para la mezcla trigo-lenteja, 47.5 % en la mezcla trigo-frijol y 72.0 % para la mezcla trigo-soya; en fibra dietética insolubles aumenta en 41.5 % en la mezcla trigo-lenteja, 24.2 % para trigo-frijol y 6.1 % en la de trigo-soya; en riboflavina (B2) y niacina (B3) la mezcla trigo-soya tuvo 81.8 % y 20.9 %, respectivamente, más que la harina de maíz; en ácido pantoténico las ganancias fueron de 28.7 % en la mezcla trigo-garbanzo, 39.4 % para trigo-lenteja y 19.2 % en trigo-soya; en vitamina B6 se logró mejorar en 23.5 % en las mezclas trigo-garbanzo y trigo-lenteja, 5.9 % en la mezcla trigo-frijol y 8.8 % para la mezcla trigo-soya; el mayor aumento se dio en el ácido fólico con 489.7 % en la mezcla trigo-garbanzo, 371.7 % para trigo-lenteja, 318.4 % en la mezcla trigo-frijol y 196.7 % para trigo-soya; en vitamina A, el trigo no presenta y las mezclas tuvieron 2.87, 1.64, 0.39 y 3.36 µg por

100 g de harina de las mezclas trigo-garbanzo, trigo-lenteja, trigo-frijol y trigo-soya, respectivamente; en calcio la mezcla trigo-frijol aumentó 22.5 % y la de trigo-soya fue de 30.5 %; en hierro se tuvo un aumento del 30.0 % en la mezcla trigo-garbanzo, 61.7 % en la de trigo-lenteja, 49.7 % para trigo-frijol y 21.7 % en la mezcla trigo-soya; en fósforo las mejoras fueron de 4.2 %, 15.1 %, 8.8 % y 13.7 % en las mezclas de trigo-garbanzo, trigo-lenteja, trigo-frijol y trigo-soya, respectivamente; en potasio 51.2 % en la mezcla trigo-garbanzo, 54.5 % para trigo-lenteja, 7.0 % en la mezcla trigo-frijol y 56.5 % para trigo-soya; en fitoesterol, la harina de trigo no contiene y las mezclas presentan valores de 14.4 y 49.5 mg por cada 100 g de harina de las mezclas trigo-garbanzo y trigo-soya, respectivamente. A su vez, al realizar las mezclas trigo-leguminosas, el aporte de carbohidratos por parte de la leguminosa es de 33.38 % en la mezcla trigo-garbanzo, 31.85 % en la mezcla trigo-lenteja, 31.02 % en la mezcla trigo-frijol y 8.75 % en la mezcla trigo-soya.

Respecto al balance de aminoácidos indispensables de las mezclas de trigo-leguminosas, se puede ver en el Cuadro 28, que las cuatro mezclas satisfacen los requerimientos del patrón de aminoácidos para el grupo de las personas adultas, lo cual solamente la harina de soya cumplía por sí sola, lográndose un mejor balance en aminoácidos indispensables en las mezclas realizadas. Las cuatro mezclas presentan como aminoácidos principales: histidina y azufrados (metionina y cisteína).

Cuadro 27. Valor nutricional del trigo y sus mezclas con las leguminosas en 100 g de mezcla.

Característica	Unidad	Trigo	Trigo-Garbanzo	Trigo-Lenteja	Trigo-Frijol	Trigo-Soya
Energía	kc	359.00	343.35	332.69	330.56	358.12
Proteína total	g	12.60	17.00	20.59	18.59	21.67
Digestibilidad	%	95.00	87.09	85.50	86.59	86.70
Hidratos de Carbono	g	73.40	65.01	63.55	64.90	57.92
Grasa total	g	2.60	3.61	1.53	1.50	7.61
Agua	g	9.10	12.26	12.12	12.37	10.63
Cenizas	g	2.30	2.13	2.22	2.65	2.61
Ác. Grasos saturados	g	0.31	0.44	0.24	0.24	1.06
Ác. Grasos Monoinsaturado	g	0.30	0.74	0.24	0.21	1.49
Ác. Grasos poliinsaturados	g	0.77	1.56	0.64	0.65	3.82
Fibra dietética insoluble	g	3.30	2.62	4.67	4.10	3.50
Ácido Ascórbico (C)	mg	0.00	1.64	2.54	1.76	0.00
Tiamina (B1)	mg	0.59	0.49	0.49	0.51	0.52
Riboflavina (B2)	mg	0.22	0.15	0.17	0.15	0.40
Niacina (B3)	mg	4.40	4.00	4.44	4.29	5.32
Ácido Pantoténico	mg	0.94	1.21	1.31	0.88	1.12
Vitamina B6	mg	0.34	0.42	0.42	0.36	0.37
Ácido fólico	µg	43.00	253.58	202.82	179.93	127.56
Vitamina A	µg	0.00	2.87	1.64	0.39	3.36
Alfa tocoferol E	mg	1.01	0.60	0.60	0.62	0.73
Tocoferol total	mg	1.01	0.60	0.60	0.62	0.73
Calcio	mg	58.00	57.80	35.66	71.02	75.68
Hierro	mg	3.60	4.68	5.82	5.39	4.38
Magnesio	mg	160.00	120.31	117.03	130.24	209.40
Fósforo	mg	332.00	345.94	382.02	361.25	377.36
Potasio	mg	370.00	559.35	571.65	755.74	949.00
Sodio	mg	3.00	11.02	5.28	10.58	5.08
Zinc	mg	2.60	3.05	3.12	2.78	3.10
Cobre	mg	0.41	0.59	0.59	0.62	1.11
Manganeso	mg	4.06	3.30	2.98	2.88	3.56
Fitoesterol	mg	0.00	14.35	0.00	49.53	0.00

Fuente: obtenido con el software Formulador 3.0 (IIIA, Cuba, 2007).

Cuadro 28. Balance de aminoácidos indispensables de las mezclas trigo-leguminosas.

Aminoácido	Patrón (mg/g proteína)	Mezcla (mg/g proteína)				Cómputo de AA [†]			
		Gar	Len	Fri	Soy	Gar	Len	Fri	Soy
Histidina	17.00	24.26	25.19	24.59	22.99	1.43	1.48	1.45	1.35
Isoleucina	42.00	38.75	39.63	39.59	39.61	0.92	0.94	0.94	0.94
Leucina	70.00	69.17	70.24	73.54	70.82	0.99	1.00	1.05	1.01
Lisina	51.00	45.16	50.55	47.20	43.11	0.89	0.99	0.93	0.85
Azufrados	26.00	34.35	30.24	33.62	34.26	1.32	1.16	1.29	1.32
Aromáticos	73.00	76.92	75.85	78.91	78.86	1.05	1.04	1.08	1.08
Treonina	35.90	32.30	32.44	35.02	33.77	0.90	0.90	0.98	0.94
Triptófano	11.00	11.23	10.59	12.25	12.97	1.02	0.96	1.11	1.18
Valina	48.00	43.08	47.18	48.15	44.83	0.90	0.98	1.00	0.93

Gar = garbanzo; Len = lentej; Fri = frijol; Soy = soya; Patrón= Requerimientos para personas adultas, de la National Academy of Sciences (1980) y utilizado por el software Formulador 3.0; [†]Cómputo de AA: mg de aminoácidos en proteína en estudio/ mg de aminoácidos en proteína patrón (Suárez *et al.*, 2006). * Déficit en aminoácido.

Fuente: obtenido con el software Formulador 3.0 (IIIA, Cuba, 2007).

4.1.3.5 Beneficio de las mezclas 50:50 base proteína

En cuanto al valor nutritivo se presentaron incrementos, respecto a la harina de los cereales, en algunos componentes nutricionales, en los cuales se destaca su importancia a continuación (Thompson *et al.*, 2008):

- ✓ Las proteínas, lo cual es importante ya que son componentes esenciales de todos los tejidos del cuerpo humano (músculo, huesos, sangre y hormonas) y a su vez son esenciales para el transporte de otros nutrientes.
- ✓ La fibra dietética insoluble que favorece los movimientos intestinales, el alivio del estreñimiento y la reducción del riesgo de diverticulosis (formación de protuberancias en la pared intestinal, las cuales se inflaman e infectan).
- ✓ La tiamina (B1) necesaria para la formación de su coenzima pirofosfato de tiamina (TPP, por sus siglas en inglés), donde desempeña una función crítica en el desglose de la glucosa y a su vez ésta coenzima actúa en el metabolismo de los aminoácidos ramificados (leucina, isoleucina y valina), ayuda a la producción de ADN y ARN y en la síntesis de los neurotransmisores (sustancias químicas que transmiten mensajes por todo el sistema nervioso central).

- ✓ La riboflavina (B2) es un componente importante de dos coenzimas: la flavina mononucleótido (FMN) y la flavina adenina dinucleótido (FAD), que están involucradas en las reacciones de oxidación y reducción que tienen lugar durante los procesos metabólicos productores de energía, entre ellos la cadena de transporte de electrones y también forma parte de la coenzima requerida por la glutatión peroxidasa (ayuda en la lucha contra los daños de la oxidación).
- ✓ La niacina (B3) que es el nutriente imprescindible para el tratamiento de la pelagra, son dos compuestos vitamínicos específicos: ácido nicotínico y la nicotinamida, que son imprescindibles para la formación de dos coenzimas, el nicotín-adenín dinucleótido (NAD) y el nicotín-dinucleótido fosfato (NADP), las cuales son necesarias para las reacciones de oxidación y reducción implicadas en el catabolismo de carbohidratos, lípidos y las proteínas.
- ✓ La piridoxina (B6) que es un grupo de tres compuestos la piridoxina (PN), el piridoxal (PL) y la piridoxamina (PM); además de sus derivados fosforilados, que son el fosfato de piridoxina (PNP), el fosfato de piridoxal (PLP) y el fosfato de piridoxamina (PMP); siendo la forma PLP en la que es una coenzima de más de 100 enzimas implicadas en el metabolismo de aminoácidos, y juega un papel determinante en la transaminación, que es el proceso clave para formar aminoácidos no esenciales.
- ✓ El ácido pantoténico, es una vitamina esencial que se metaboliza en dos coenzimas mayores: la coenzima A (CoA) y la proteína transportadora de acilos (ACP); ambas son esenciales en la síntesis de ácidos grasos, aunque la CoA es esencial para la oxidación de los mismos, el metabolismo de la cetona, y el metabolismo de los carbohidratos y de las proteínas.
- ✓ El ácido fólico, actúa principalmente asociado a las coenzimas dependientes de él y que actúan como receptores y donantes de un carbono; estas enzimas son fundamentales para la síntesis de ADN, la diferenciación celular (lo que lo hace esencial para las primeras semanas del embarazo) y el metabolismo de aminoácidos, también es esencial en la síntesis de las nuevas células (por ejemplo glóbulos rojos) y en la reparación de células dañadas.

- ✓ La vitamina A, que es liposoluble, desempeña varias funciones significativas en el cuerpo; dentro de las principales se puede mencionar que actúa como antioxidante, el mantenimiento de una vista saludable, contribuye a la diferenciación celular, a un crecimiento óseo saludable, a un sistema inmunológico sano, es necesaria en la producción de esperma en los hombres y para la fertilización en las mujeres.
- ✓ El calcio, uno de sus papeles principales es servir de estructura a los huesos y dientes; es alcalino o básico y desempeña una función muy importante ayudando a mantener el equilibrio de ácidos y bases en la sangre; es importante para la transmisión normal de los impulsos nerviosos; facilita la contracción muscular; en una dieta de adelgazamiento rica en calcio puede ayudar a las personas a perder más peso que si solamente se enfocaran a reducir el aporte calórico; mantiene la presión arterial; inicia la coagulación de la sangre y regula diferentes hormonas y enzimas.
- ✓ El hierro como componente de la hemoglobina, facilita el transporte del oxígeno en la sangre, mientras que en la mioglobina facilita el transporte del oxígeno hasta las células musculares; es una coenzima de enzimas que influyen en el metabolismo de la energía y es parte del sistema de enzimas antioxidantes que combate los radicales libres.
- ✓ El fósforo es el principal electrolito cargado negativamente en el líquido intracelular, mantiene el equilibrio hídrico dentro de la célula; desempeña un papel clave en el desarrollo de los huesos, ya que es parte de los compuestos minerales de los huesos; componente del ATP, que da energía al cuerpo; ayuda a regular las reacciones bioquímicas, activando o desactivando enzimas durante la fosforilación; parte integrante del material genético (ADN y ARN) y es un componente de las membranas celulares (como fosfolípidos) y de las lipoproteínas.
- ✓ El potasio es el principal electrolito cargado positivamente en el líquido intracelular, regula la contracción celular, regula la transmisión de impulsos nerviosos y ayuda a mantener niveles sanos de tensión arterial.
- ✓ Los fitoesteroides son un grupo de compuestos naturales, su función es muy similar a la del colesterol en la estructura de las membranas celulares vegetales, se les atribuyen propiedades antiinflamatorias, antitumorales, bactericidas y fungicidas;

sin embargo, el efecto mejor caracterizado científicamente, es el hipocolesterolemiante, tanto respecto del colesterol total como del colesterol-LDL.

- ✓ El aporte de carbohidratos en la dieta por parte de las leguminosas, ya que éstas contienen más almidón resistente (indigestibles) que los cereales, las frutas y las verduras. Técnicamente el almidón resistente está clasificado como fibra.

4.2 Proceso de extrusión

4.2.1 Acondicionamiento de las mezclas cereal-leguminosas

El contenido de humedad de las 16 mezclas se presentan en el Cuadro 29, a partir de ella se calculó la cantidad de agua a añadir para llegar a la humedad requerida para el experimento (24, 26 y 28 %). Se observó que las mezclas que tuvieron menor cantidad de humedad son las a base de maíz y las de mayor humedad las desarrolladas con trigo; siendo las que necesitaron más agua y menos agua, respectivamente para llegar a cada uno de los niveles de humectación.

Cuadro 29. Porcentaje de humedad de las mezclas crudas cereal-leguminosas

Mezcla	Maíz	Avena	Trigo	Amaranto
Garbanzo	7.5 ± 0.3	8.4 ± 0.2	9.0 ± 0.3	8.1 ± 0.1
Lenteja	8.9 ± 0.2	8.8 ± 0.0	9.6 ± 0.3	9.2 ± 0.1
Frijol	7.9 ± 0.4	10.0 ± 0.2	10.1 ± 0.4	9.5 ± 0.5
Soya	7.5 ± 0.2	7.5 ± 0.6	8.4 ± 0.1	8.8 ± 0.2

4.2.2 Efecto de las mezclas cereal-leguminosas en la velocidad de alimentación y tiempo de retención

En el Cuadro 30, se presentan las velocidades de alimentación en cada una de las mezclas a las diferentes temperaturas de proceso (110, 120 y 130 °C) a una velocidad rotacional de 70 rpm y una humedad del 26 %; así mismo se reportan los tiempos de retención promedio durante todo el proceso de extrusión de las mismas. Se puede observar que las mezclas cereal-soya presentaron una menor velocidad de alimentación, lo cual puede deberse a que estas mezclas son las que tienen un mayor contenido de proteína, que puede estar limitando su transporte dentro del barril de

procesamiento del extrusor y a su vez presentan un menor contenido de carbohidratos que es uno de los componentes que favorecen el proceso de extrusión.

Cuadro 30. Velocidad de alimentación (kg/h) y tiempo de residencia (s) en las mezclas extrudidas.

Condiciones	Mezclas de maíz (kg/h)			
	Garbanzo	Lenteja	Frijol	Soya
Hum. = 26 y Temp.= 110	4.54 ± 0.11	3.77 ± 0.07	4.51 ± 0.13	2.90 ± 0.11
Hum. = 26 y Temp.= 120	4.20 ± 0.25	4.45 ± 0.24	4.63 ± 0.13	2.61 ± 0.23
Hum. = 26 y Temp.= 130	3.82 ± 0.15	4.64 ± 0.22	4.24 ± 0.07	2.24 ± 0.09
t residencia (s)	39 ± 8	49 ± 2	60 ± 2	57 ± 9
Condiciones	Mezclas de avena (kg/h)			
	Garbanzo	Lenteja	Frijol	Soya
Hum. = 26 y Temp.= 110	2.67 ± 0.14	1.86 ± 0.14	3.95 ± 0.28	1.34 ± 0.07
Hum. = 26 y Temp.= 120	2.75 ± 0.06	2.49 ± 0.27	3.68 ± 0.03	1.50 ± 0.22
Hum. = 26 y Temp.= 130	2.92 ± 0.02	3.28 ± 0.15	4.16 ± 0.26	1.56 ± 0.14
t residencia (s)	60 ± 10	68 ± 6	52 ± 5	64 ± 6
Condiciones	Mezclas de trigo (kg/h)			
	Garbanzo	Lenteja	Frijol	Soya
Hum. = 26 y Temp.= 110	4.18 ± 0.17	4.62 ± 0.14	4.12 ± 0.05	3.74 ± 0.19
Hum. = 26 y Temp.= 120	4.27 ± 0.17	4.74 ± 0.26	4.28 ± 0.32	3.90 ± 0.12
Hum. = 26 y Temp.= 130	3.87 ± 0.16	4.91 ± 0.04	4.31 ± 0.29	3.74 ± 0.24
t residencia (s)	50 ± 6	46 ± 8	52 ± 6	56 ± 4

Hum. = Humedad de la mezcla y Temp. = Temperatura de procesamiento.

Para el caso de las mezclas de amaranto, únicamente la soya fue extrudida con el amaranto, ya que no se pudo realizar la extrusión de la soya sola bajo las condiciones establecidas. En el Cuadro 31, se presentan los datos de velocidad de alimentación en cada una de las leguminosas extrudidas a las diferentes temperaturas de proceso (110, 120 y 130 °C) a una velocidad rotacional de 70 rpm y una humedad del 26 %; así mismo se reportan los tiempos de retención promedio durante todo el proceso de extrusión de las mismas. En general, se puede destacar que al realizar la extrusión de la mezcla cereal-leguminosa, se favorece tecnológicamente al proceso, ya que la extrusión de las leguminosas solas presentan una menor velocidad de alimentación en comparación a la extrusión de las mezclas, lo cual se debe al mayor contenido de proteína.

Cuadro 31. Velocidad de alimentación (kg/h) y tiempo de residencia (s) en las leguminosas extrudidas.

Condiciones	Garbanzo	Lenteja	Frijol	Amaranto-Soya
Hum. = 26 y Temp.= 110	1.74 ± 0.14	5.06 ± 0.19	3.45 ± 0.20	3.21 ± 0.12
Hum. = 26 y Temp.= 120	1.62 ± 0.08	3.51 ± 0.04	2.47 ± 0.03	3.19 ± 0.07
Hum. = 26 y Temp.= 130	1.36 ± 0.02	4.43 ± 0.11	2.57 ± 0.10	2.90 ± 0.19
t residencia (s)	63 ± 3	56 ± 6	66 ± 1	56 ± 2

Hum. = Humedad de la mezcla y Temp. = Temperatura de procesamiento.

Respecto al tiempo de residencia de la materia prima dentro del barril del extrusor, la variación fue desde 39 segundos (mezcla maíz-garbanzo) hasta los 68 segundos (mezcla maíz-lenteja), lo que indica que es un proceso que requiere cortos tiempos que van desde los 30 hasta los 120 segundos (Delahaye *et al.*, 1997; Hurtado *et al.*, 2001).

4.3 Digestibilidad *in vitro* de la proteína en las mezclas cereal-leguminosa crudas y extrudidas

La digestibilidad *in vitro* de las mezclas únicamente se evaluó a las tres temperaturas (110, 120 y 130 °C) para una humedad del 28 % ya que en esta última condición se tuvo un mejor funcionamiento del extrusor y el extrudido visualmente era más atractivo, pero al ver que existía diferencia estadística significativa, se decidió analizar a las tres humedades (24, 26 y 28 %) para la temperatura de 130 °C para saber si la temperatura era un factor que afectara la digestibilidad *in vitro*; no se realizó el análisis de las demás muestras debidas a las limitantes en los reactivos requeridos para dicho análisis.

4.3.1 Mezcla maíz-frijol cruda y extrudida

En el Cuadro 32, se presentan los datos de digestibilidad en la mezcla de maíz frijol. Jacinto y Campos (1993), reportaron una digestibilidad *in vitro* de la proteína del frijol que va desde 76.0 a 82.2 %, valores un poco mayores a los encontrados en el material de estudio; Nergiz y Gökgöz (2007) encontraron valores de 68.97 a 71.24 % en grano de frijol crudo; mientras que para harina de maíz extrudido Gutiérrez *et al.*,

(2008) informan un valor del 80.9 %, que debe ser más alto que el de maíz crudo. La mezcla de maíz-frijol crudo presentó una digestibilidad proteica de 71.73 %, que comparada con la harina extrudida representó un aumento de la digestibilidad en un 12.9 % para las humedad del 28 % y una temperatura de procesamiento de 130 °C. El valor anterior coincide con lo encontrado con Jacinto y Campos (1993) que informan un aumento del 10 % en la digestibilidad en frijol por el hecho de cocinarlos; a su vez, Drago *et al.*, (2007) encontraron una digestibilidad *in vitro* del 83.29 % para una mezcla extrudida de maíz-frijol (en relación de 85:15), que es prácticamente cercano a lo encontrado. Se observa que no existe diferencia estadística significativa entre los tres tratamientos evaluados de 24, 26 y 28 % de humedad de la materia prima, mientras que la temperatura de procesamiento si tuvo un efecto estadísticamente significativo sobre la digestibilidad, aumentando la digestibilidad a medida que aumentó la temperatura de procesamiento.

Cuadro 32. Digestibilidad proteica *in vitro* de la mezcla maíz frijol.

Material	Digestibilidad Promedio
Frijol Crudo	69.74 ± 0.46 e
Maíz Crudo	76.08 ± 0.46 c
Maíz Frijol Cruda	71.73 ± 0.55 d
Maíz Frijol H=28 T=110	76.44 ± 0.46 c
Maíz Frijol H=28 T=120	78.13 ± 0.46 b
Maíz Frijol H=24 T=130	79.88 ± 0.55 a
Maíz Frijol H=26 T=130	80.54 ± 0.46 a
Maíz Frijol H=28 T=130	80.96 ± 0.82 a

Letras iguales en una misma columna indican que no existe diferencia estadística significativa, a partir de un análisis de prueba de Tukey para un $\alpha = 0.05$.

4.3.2 Mezcla maíz-lenteja cruda y extrudida

En el Cuadro 33, se presentan los datos de digestibilidad en la mezcla de maíz lenteja. Suárez *et al.*, (2006) reportan un valor de digestibilidad de la lenteja cruda de 78 %, el cual es cercano al valor de 77.16 % para el material en estudio. La mezcla de maíz-lenteja cruda presentó una digestibilidad protéica de 76.80 %, que comparada con la harina extrudida representó un aumento de la digestibilidad del 8.8 % para la humedad del 28 %, a una temperatura de procesamiento de 130 °C. Se observa que

no existe diferencia estadística significativa entre los tres tratamientos evaluados de 24, 26 y 28 % de humedad en la materia prima, mientras que para el caso del factor temperatura si existe una diferencia estadística entre el tratamiento de 130 °C con los tratamientos de 110 y 120 °C que son estadísticamente iguales.

Cuadro 33. Digestibilidad proteica *in vitro* de la mezcla maíz-lenteja.

Material	Digestibilidad Promedio
Lenteja Cruda	77.16 ± 0.64 c
Maíz Crudo	76.08 ± 0.46 c
Maíz Lenteja Cruda	76.80 ± 1.00 c
Maíz Lenteja H=28 T=110	79.15 ± 0.28 b
Maíz Lenteja H=28 T=120	80.42 ± 0.64 b
Maíz Lenteja H=24 T=130	82.59 ± 0.28 a
Maíz Lenteja H=26 T=130	83.32 ± 0.64 a
Maíz Lenteja H=28 T=130	83.56 ± 0.18 a

Letras iguales en una misma columna indican que no existe diferencia estadística significativa, a partir de un análisis de prueba de Tukey para un $\alpha = 0.05$.

4.3.3 Mezcla maíz-soya cruda y extrudida

En el Cuadro 34, se presentan los datos de digestibilidad de la mezcla de maíz-soya. Suárez *et al.*, (2006) reportan un valor de digestibilidad de la soya cruda de 78 %, al igual que Guzman *et al.*, (1989) reportaron un valor del 77 % de digestibilidad, valores ligeramente superiores al valor encontrado. La mezcla de maíz-soya cruda presentó una digestibilidad protéica de 74.08 %, que comparada con la harina extrudida representó un aumento de la digestibilidad del 12.6 % para la humedad del 28 % y una temperatura de procesamiento de 130 °C. Se puede ver que la temperatura de procesamiento es el factor que presenta diferencia estadística, mientras que la humedad de la materia prima no origina una diferencia estadística significativa. Guzman *et al.*, (1989), encontraron que al aumentar la temperatura de extrusión aumenta la digestibilidad *in vitro* de las proteínas en extrusión de mezclas de maíz-soya, debido principalmente a la destrucción de factores antinutricionales presentes en las leguminosas y la desnaturalización de proteínas que las vuelve más asimilables en el organismo. Por su parte, Bressani *et al.*, (1978), encontraron que al extrudir una mezcla de maíz-soya (70:30) a humedades inferiores del 13.6 %, la actividad de

inhibidores de tripsina se reducía en un 15.3 %; mientras que se reducía en un 80 % al aumentar la humedad de la mezcla cruda a 21.4 % antes de la extrusión.

Cuadro 34. Digestibilidad proteica *in vitro* de la mezcla maíz-soya

Material	Digestibilidad Promedio
Soya Cruda	73.72 ± 0.55 d
Maíz Crudo	76.08 ± 0.46 c
Maíz Soya Cruda	74.08 ± 0.28 d
Maíz Soya H=28 T=110	76.92 ± 0.38 bc
Maíz Soya H=28 T=120	77.46 ± 0.46 b
Maíz Soya H=24 T=130	82.95 ± 0.28 a
Maíz Soya H=26 T=130	83.32 ± 0.38 a
Maíz Soya H=28 T=130	83.38 ± 0.83 a

Letras iguales en una misma columna indican que no existe diferencia estadística significativa, a partir de un análisis de prueba de Tukey para un $\alpha = 0.05$.

4.3.4 Mezcla maíz-garbanzo cruda y extrudida

En el Cuadro 35, se presentan los datos de digestibilidad de la mezcla de maíz-garbanzo. Suárez *et al.*, (2006) reportaron una digestibilidad del 78 % para garbanzo crudo y Gutiérrez *et al.*, (2008) informan un valor de 82.6 % para garbanzo extrudido. La mezcla cruda de maíz-garbanzo presentó una digestibilidad del 76.14 %, misma que aumentó en 10.2 % para la humedad del 28 y una temperatura de 130 °C. De igual forma que en los casos anteriores, no existe diferencia estadística significativa entre los tres tratamientos evaluados de 24, 26 y 28 % de humedad de la materia prima, pero la temperatura de procesamiento si tuvo un efecto estadístico significativo.

Cuadro 35. Digestibilidad proteica *in vitro* de la mezcla maíz-garbanzo

Material	Digestibilidad Promedio
Garbanzo Crudo	76.50 ± 1.27 c
Maíz Crudo	76.08 ± 0.46 c
Maíz Garbanzo Cruda	76.14 ± 0.36 c
Maíz Garbanzo H=28 T=110	76.62 ± 0.73 c
Maíz Garbanzo H=28 T=120	78.73 ± 0.58 b
Maíz Garbanzo H=24 T=130	83.20 ± 0.65 a
Maíz Garbanzo H=26 T=130	83.74 ± 0.54 a
Maíz Garbanzo H=28 T=130	83.92 ± 0.36 a

Letras iguales en una misma columna indican que no existe diferencia estadística significativa, a partir de un análisis de prueba de Tukey para un $\alpha = 0.05$.

4.3.5 Mezcla amaranto-frijol cruda y extrudida

En el Cuadro 36, se presentan los datos de digestibilidad de la mezcla de amaranto-frijol. Carpenter (1983) reporta un valor de 77 % de digestibilidad del grano de amaranto reventado, valor por debajo al 85.55 % encontrado en el trabajo. La mezcla de amaranto reventado-frijol crudo presentó una digestibilidad del 76.92 %, misma que aumentó en 8.6 % cuando se realizó la mezcla amaranto reventado-frijol extrudido a una humedad del 28 % y una temperatura de procesamiento de 130 °C. Se observa que no existe diferencia estadística significativa entre los tres tratamientos evaluados de 24, 26 y 28 % de humedad en la materia prima y en cuanto a la temperatura únicamente la de 130 °C sería estadísticamente diferente a las otras dos.

Cuadro 36. Digestibilidad proteica *in vitro* de la mezcla amaranto-frijol

Material	Digestibilidad Promedio
Frijol Crudo	69.74 ± 0.46 e
Amaranto reventado	85.55 ± 1.58 a
Amaranto Frijol Crudo	76.92 ± 0.46 d
Amaranto Frijol H=28 T=110	78.25 ± 0.75 cd
Amaranto Frijol H=28 T=120	80.06 ± 0.46 c
Amaranto Frijol H=24 T=130	82.77 ± 0.64 b
Amaranto Frijol H=26 T=130	83.50 ± 0.28 ab
Amaranto Frijol H=28 T=130	83.56 ± 0.48 ab

Letras iguales en una misma columna indican que no existe diferencia estadística significativa, a partir de un análisis de prueba de Tukey para un $\alpha = 0.05$.

4.3.6 Mezcla amaranto-lenteja cruda y extrudida

En el Cuadro 37, se presentan los datos de digestibilidad de la mezcla de amaranto-lenteja. La mezcla de amaranto reventado-lenteja cruda presentó una digestibilidad del 80.66 %, misma que aumentó en 8.2 % cuando se realizó la mezcla amaranto reventado-lenteja extrudida a una humedad del 28 % y temperatura de procesamiento de 130 °C. No se encontró diferencia estadística significativa entre los tres tratamientos evaluados de 24, 26 y 28 % de humedad, para el caso de las temperaturas de procesamiento si se observó diferencia estadística significativa.

Cuadro 37. Digestibilidad proteica *in vitro* de la mezcla amaranto-lenteja

Material	Digestibilidad Promedio
Lenteja Cruda	77.16 ± 0.64 d
Amaranto reventado	85.55 ± 1.58 a
Amaranto Lenteja Cruda	80.66 ± 0.83 c
Amaranto Lenteja H=28 T=110	80.48 ± 0.65 c
Amaranto Lenteja H=28 T=120	83.20 ± 0.48 b
Amaranto Lenteja H=24 T=130	85.91 ± 0.72 a
Amaranto Lenteja H=26 T=130	86.94 ± 0.46 a
Amaranto Lenteja H=28 T=130	87.24 ± 0.46 a

Letras iguales en una misma columna indican que no existe diferencia estadística significativa, a partir de un análisis de prueba de Tukey para un $\alpha = 0.05$.

4.3.7 Mezcla amaranto-soya cruda y extrudida

En el Cuadro 38, se presentan los datos de digestibilidad de la mezcla de amaranto-soya. La mezcla de amaranto reventado-soya cruda presentó una digestibilidad del 80.96 %, misma que aumentó en 7.8 % cuando se realizó la mezcla amaranto reventado extrudido-soya extrudida a la temperatura de 130 °C y a la humedad de 28 %. Para el caso del factor humedad de la materia prima no existió diferencia estadística significativa, mientras que para el factor temperatura de procesamiento si existió.

Cuadro 38. Digestibilidad proteica *in vitro* de la mezcla amaranto-soya

Material	Digestibilidad Promedio
Soya Cruda	73.72 ± 0.55 d
Amaranto reventado	85.55 ± 1.58 a
Amaranto Soya Cruda	80.96 ± 0.75 b
Amaranto Soya H=28 T=110	77.83 ± 0.46 c
Amaranto Soya H=28 T=120	82.83 ± 0.54 b
Amaranto Soya H=24 T=130	86.39 ± 0.46 a
Amaranto Soya H=26 T=130	86.76 ± 0.46 a
Amaranto Soya H=28 T=130	87.30 ± 0.28 a

Letras iguales en una misma columna indican que no existe diferencia estadística significativa, a partir de un análisis de prueba de Tukey para un $\alpha = 0.05$.

4.3.8 Mezcla amaranto-garbanzo cruda y extrudida

En el Cuadro 39, se presentan los datos de digestibilidad de la mezcla de amaranto-garbanzo. La mezcla de amaranto reventado-garbanzo crudo presentó una digestibilidad del 80.78 %, misma que aumentó en 7.4 % cuando se realizó la mezcla amaranto reventado -garbanzo extrudido. Así mismo se presentan los resultados de la prueba de Tukey por medio de la cual se realizó una comparación de los tratamientos para ver si existía diferencia estadística. Se observa que no existe diferencia estadística significativa entre los tres tratamientos evaluados de 24, 26 y 28 % de humedad.

Cuadro 39. Digestibilidad proteica *in vitro* de la mezcla amaranto-garbanzo

Material	Digestibilidad Promedio
Garbanzo Crudo	76.50 ± 1.27 c
Amaranto reventado	85.55 ± 1.58 a
Amaranto Garbanzo Cruda	80.78 ± 0.58 b
Amaranto Garbanzo H=28 T=110	81.63 ± 0.28 b
Amaranto Garbanzo H=28 T=120	84.52 ± 0.46 a
Amaranto Garbanzo H=24 T=130	86.03 ± 0.55 a
Amaranto Garbanzo H=26 T=130	86.45 ± 0.36 a
Amaranto Garbanzo H=28 T=130	86.76 ± 0.55 a

Letras iguales en una misma columna indican que no existe diferencia estadística significativa, a partir de un análisis de prueba de Tukey para un $\alpha = 0.05$.

4.3.9 Mezcla avena-frijol cruda y extrudida

En el Cuadro 40, se presentan los datos de digestibilidad de la mezcla de avena-frijol. Suárez *et al.*, (2006) reportaron un valor de digestibilidad de la harina de avena del 83.95 %, valor que es 13.23 % superior al encontrado. La mezcla de avena-frijol crudo presentó una digestibilidad del 73.30 %, misma que aumentó en 18.1 % cuando se realizó la extrusión de la mezcla avena-frijol a una humedad del 28 % y una temperatura de procesamiento de 130 °C. Se observó que no existe diferencia estadística significativa entre los tres tratamientos evaluados de 24, 26 y 28 % de humedad (a una temperatura de 130 °C), mientras que si existe diferencia estadística significativa entre los tres tratamientos evaluados de 110, 120 y 130 °C (a una humedad de 28 %).

Cuadro 40. Digestibilidad proteica *in vitro* de la mezcla avena-frijol

Material	Digestibilidad Promedio
Frijol Crudo	69.74 ± 0.46 e
Avena Cruda	74.14 ± 0.54 d
Avena Frijol Cruda	73.30 ± 0.38 d
Avena Frijol H=28 T=110	78.49 ± 0.65 c
Avena Frijol H=28 T=120	80.60 ± 0.55 b
Avena Frijol H=24 T=130	85.31 ± 0.28 a
Avena Frijol H=26 T=130	85.79 ± 0.28 a
Avena Frijol H=28 T=130	86.58 ± 0.73 a

Letras iguales en una misma columna indican que no existe diferencia estadística significativa, a partir de un análisis de prueba de Tukey para un $\alpha = 0.05$.

4.3.10 Mezcla avena-lenteja cruda y extrudida

En el Cuadro 41, se presentan los datos de digestibilidad de la mezcla de avena-lenteja. La mezcla de avena-lenteja cruda presentó una digestibilidad del 75.95 %, misma que aumentó en 17.6 % cuando se realizó la mezcla avena-frijol extrudida a humedad del 28 % y temperatura de procesamiento de 130 °C. Así mismo se presentan los resultados de la prueba de Tukey por medio de la cual se realizó una comparación de los tratamientos para ver si existía diferencia estadística. Se observa que no existe diferencia estadística significativa entre los tres tratamientos evaluados de 24, 26 y 28 % de humedad (a una temperatura de 130 °C), mientras que si existe diferencia estadística significativa entre los tres tratamientos evaluados de 110, 120 y 130 °C (a una humedad de 28 %).

Cuadro 41. Digestibilidad proteica *in vitro* de la mezcla avena-lenteja

Material	Digestibilidad Promedio
Lenteja Crudo	77.16 ± 0.64 d
Avena Cruda	74.14 ± 0.54 e
Avena Lenteja Cruda	75.95 ± 0.36 d
Avena Lenteja H=28 T=110	82.65 ± 0.54 c
Avena Lenteja H=28 T=120	85.49 ± 0.82 b
Avena Lenteja H=24 T=130	88.32 ± 0.10 a
Avena Lenteja H=26 T=130	88.75 ± 0.17 a
Avena Lenteja H=28 T=130	89.29 ± 0.46 a

Letras iguales en una misma columna indican que no existe diferencia estadística significativa, a partir de un análisis de prueba de Tukey para un $\alpha = 0.05$.

4.3.11 Mezcla avena-soya cruda y extrudida

En el Cuadro 42, se presentan los datos de digestibilidad de la mezcla de avena-soya. La mezcla de avena-soya cruda presentó una digestibilidad del 73.72 %, misma que aumentó en 20.1 % cuando se realizó la extrusión de la mezcla avena-frijol a humedad del 28 % y temperatura de procesamiento de 130 °C. Se observa que no existe diferencia estadística significativa entre los tres tratamientos evaluados de 24, 26 y 28 % de humedad (a una temperatura de 130 °C), mientras que si existe diferencia estadística significativa entre los tres tratamientos evaluados de 110, 120 y 130 °C (a una humedad de 28 %).

Cuadro 42. Digestibilidad proteica *in vitro* de la mezcla avena-soya

Material	Digestibilidad Promedio
Soya Cruda	73.72 ± 0.55 d
Avena Cruda	74.14 ± 0.54 d
Avena Soya Cruda	73.72 ± 0.28 d
Avena Soya H=28 T=110	82.23 ± 0.64 c
Avena Soya H=28 T=120	83.80 ± 0.46 b
Avena Soya H=24 T=130	87.56 ± 0.15 a
Avena Soya H=26 T=130	87.92 ± 0.16 a
Avena Soya H=28 T=130	88.57 ± 0.28 a

Letras iguales en una misma columna indican que no existe diferencia estadística significativa, a partir de un análisis de prueba de Tukey para un $\alpha = 0.05$.

4.3.12 Mezcla avena-garbanzo cruda y extrudida

En el Cuadro 43, se presentan los datos de digestibilidad de la mezcla de avena-garbanzo. La mezcla de avena-garbanzo crudo presentó una digestibilidad del 75.05 %, misma que aumentó en 17.7 % cuando se realizó el proceso de extrusión a humedad del 28 % y temperatura de procesamiento de 130 °C. Se observa que no existe diferencia estadística significativa entre los tres tratamientos evaluados de 24, 26 y 28 % de humedad (a una temperatura de 130 °C), mientras que si existe diferencia estadística significativa entre los tres tratamientos evaluados de 110, 120 y 130 °C (a una humedad de 28 %).

Cuadro 43. Digestibilidad proteica *in vitro* de la mezcla avena-garbanzo

Material	Digestibilidad Promedio
Garbanzo Crudo	76.50 ± 1.27 c
Avena Cruda	74.14 ± 0.54 d
Avena Garbanzo Cruda	75.05 ± 0.48 cd
Avena Garbanzo H=28 T=110	81.08 ± 0.46 b
Avena Garbanzo H=28 T=120	82.89 ± 0.75 b
Avena Garbanzo H=24 T=130	86.60 ± 0.30 a
Avena Garbanzo H=26 T=130	87.30 ± 0.55 a
Avena Garbanzo H=28 T=130	88.33 ± 0.28 a

Letras iguales en una misma columna indican que no existe diferencia estadística significativa, a partir de un análisis de prueba de Tukey para un $\alpha = 0.05$.

4.3.13 Mezcla trigo-frijol cruda y extrudida

En el Cuadro 44, se presentan los datos de digestibilidad de la mezcla de trigo-frijol. Suárez *et al.*, (2006) reportaron un valor de digestibilidad para la harina de trigo del 86 %, valor 10 % superior al encontrado. La mezcla de trigo-frijol crudo presentó una digestibilidad del 74.87 %, misma que aumentó en 16.3 % cuando se realizó la extrusión de la mezcla a humedad del 28 % y temperatura de procesamiento de 130 °C. Se observa que no existe diferencia estadística significativa entre los tres tratamientos evaluados de 24, 26 y 28 % de humedad (a una temperatura de 130 °C), mientras que si existe diferencia estadística significativa entre los tres tratamientos evaluados de 110, 120 y 130 °C (a una humedad de 28 %).

Cuadro 44. Digestibilidad proteica *in vitro* de la mezcla trigo-frijol

Material	Digestibilidad Promedio
Frijol Crudo	69.74 ± 0.46 e
Trigo Crudo	78.19 ± 0.21 c
Trigo Frijol Crudo	74.87 ± 0.18 d
Trigo Frijol H=28 T=110	78.79 ± 0.28 c
Trigo Frijol H=28 T=120	82.71 ± 0.38 b
Trigo Frijol H=24 T=130	86.37 ± 0.23 a
Trigo Frijol H=26 T=130	86.57 ± 0.19 a
Trigo Frijol H=28 T=130	87.06 ± 0.28 a

Letras iguales en una misma columna indican que no existe diferencia estadística significativa, a partir de un análisis de prueba de Tukey para un $\alpha = 0.05$.

4.3.14 Mezcla trigo-lenteja cruda y extrudida

En el Cuadro 45, se presentan los datos de digestibilidad de la mezcla de trigo-lenteja. La mezcla de trigo-lenteja cruda presentó una digestibilidad del 77.46 %, misma que aumentó en 12.0 % cuando se realizó la extrusión a humedad del 28 % y temperatura de 130 °C. Se observa que no existe diferencia estadística significativa entre los tres tratamientos evaluados de 24, 26 y 28 % de humedad (a una temperatura de 130 °C), mientras que si existe diferencia estadística significativa entre los tres tratamientos evaluados de 110, 120 y 130 °C (a una humedad de 28 %).

Cuadro 45. Digestibilidad protéica *in vitro* de la mezcla trigo-lenteja

Material	Digestibilidad Promedio
Lenteja Cruda	77.16 ± 0.64 e
Trigo Crudo	78.19 ± 0.21 d
Trigo Lenteja Cruda	77.46 ± 0.38 de
Trigo Lenteja H=28 T=110	80.60 ± 0.38 c
Trigo Lenteja H=28 T=120	82.23 ± 0.38 b
Trigo Lenteja H=24 T=130	85.82 ± 0.12 a
Trigo Lenteja H=26 T=130	86.20 ± 0.11 a
Trigo Lenteja H=28 T=130	86.76 ± 0.38 a

Letras iguales en una misma columna indican que no existe diferencia estadística significativa, a partir de un análisis de prueba de Tukey para un $\alpha = 0.05$.

4.3.15 Mezcla trigo-soya cruda y extrudida

En el Cuadro 46, se presentan los datos de digestibilidad de la mezcla de trigo-soya. La mezcla de trigo-soya crudo presentó una digestibilidad del 74.69 %, misma que aumentó en 17.8 % cuando se realizó la mezcla avena-frijol extrudido a humedad del 28 % y temperatura de 130 °C. Se observa que no existe diferencia estadística significativa entre los tres tratamientos evaluados de 24, 26 y 28 % de humedad (a una temperatura de 130 °C), mientras que si existe diferencia estadística significativa entre los tres tratamientos evaluados de 110, 120 y 130 °C (a una humedad de 28 %).

Cuadro 46. Digestibilidad proteica *in vitro* de la mezcla trigo-soya

Material	Digestibilidad Promedio
Soya Cruda	73.72 ± 0.55 d
Trigo Crudo	78.19 ± 0.21 c
Trigo Soya Cruda	74.69 ± 0.65 d
Trigo Soya H=28 T=110	79.03 ± 0.54 c
Trigo Soya H=28 T=120	83.56 ± 0.31 b
Trigo Soya H=24 T=130	86.86 ± 0.17 a
Trigo Soya H=26 T=130	87.10 ± 0.15 a
Trigo Soya H=28 T=130	87.96 ± 0.46 a

Letras iguales en una misma columna indican que no existe diferencia estadística significativa, a partir de un análisis de prueba de Tukey para un $\alpha = 0.05$.

4.3.16 Mezcla trigo-garbanzo cruda y extrudida

En el Cuadro 47, se presentan los datos de digestibilidad de la mezcla de trigo-garbanzo. La mezcla de trigo-garbanzo crudo presentó una digestibilidad del 78.79 %, misma que aumentó en 11.4 % cuando se realizó la mezcla avena-frijol extrudido a humedad del 28 % y temperatura de 130 °C. Se observa que no existe diferencia estadística significativa entre los tres tratamientos evaluados de 24, 26 y 28 % de humedad (a una temperatura de 130 °C), mientras que si existe diferencia estadística significativa entre los tres tratamientos evaluados de 110, 120 y 130 °C (a una humedad de 28 %).

Cuadro 47. Digestibilidad proteica *in vitro* de la mezcla trigo-garbanzo

Material	Digestibilidad Promedio
Garbanzo Crudo	76.50 ± 1.27 e
Trigo Crudo	78.19 ± 0.21 de
Trigo Garbanzo Crudo	78.79 ± 0.46 d
Trigo Garbanzo H=28 T=110	80.96 ± 0.28 c
Trigo Garbanzo H=28 T=120	83.32 ± 0.73 b
Trigo Garbanzo H=24 T=130	86.03 ± 0.69 a
Trigo Garbanzo H=26 T=130	87.00 ± 0.36 a
Trigo Garbanzo H=28 T=130	87.78 ± 0.28 a

Letras iguales en una misma columna indican que no existe diferencia estadística significativa, a partir de un análisis de prueba de Tukey para un $\alpha = 0.05$.

En forma general, se puede resaltar que las condiciones más adecuadas encontradas para realizar las extrusiones de las mezclas son: humedad de la mezcla del 28 % y una temperatura de procesamiento de 130 °C a una velocidad rotacional de 70 rpm, ya que con estas condiciones se logró aumentar la digestibilidad *in vitro* respecto a la cruda en 12.9 % en la mezcla maíz-frijol, 8.8 % en la mezcla maíz-lenteja, 10.2 % en la mezcla maíz-garbanzo, 12.6 % en la maíz-soya, 8.6 % en la mezcla amaranto-frijol, 8.2 % en la mezcla amaranto-lenteja, 7.4 % en la mezcla amaranto-garbanzo, 7.8 % en la mezcla amaranto-soya, 18.1 % en la mezcla avena-frijol, 17.6 % en la mezcla avena-lenteja, 17.7 % en la mezcla avena-garbanzo, 20.1 % en las mezclas avena-soya, 16.3 % en la mezcla trigo-frijol, 12.0 % en la mezcla trigo-lenteja, 11.4 % en la mezcla trigo-garbanzo y 17.8 % en la mezcla trigo-soya.

4.4 Propiedades funcionales de las harinas de las mezclas crudas y extrudidas de cereal-leguminosas

Se evaluó la absorción de aceite y la capacidad de retención de agua como propiedades funcionales. En el Cuadro 48, se presentan los valores de las dos propiedades evaluadas en las materias primas crudas. Se observa que las materias primas crudas presentaron diferencia estadística significativa ($p < 0.05$), siendo el amaranto el que presenta una mejor absorción de aceite 2.15 ± 0.03 g aceite*g

muestra⁻¹ y la lenteja fue la que menos absorción de aceite presentó con 0.73 ± 0.02 g aceite*g muestra⁻¹. Para amaranto reventado Zapotoczny *et al.*, (2006) reportaron un valor de absorción de aceite de alrededor de 1.5 g aceite*g muestra⁻¹, valor menor en un 30 % con respecto al encontrado en el presente trabajo. Para frijol crudo, Siddiq *et al.*, (2010) encontraron un valor de absorción de aceite de 1.34 ± 0.11 g aceite*g harina⁻¹, el cual es un 61.8 % mayor al encontrado. Kaur y Singh (2005), informan un intervalo desde 1.02 a 1.25 g aceite*g muestra⁻¹ para el garbanzo crudo, valor relativamente cercano a lo encontrado.

Para la absorción de agua, las materias primas crudas presentaron diferencia estadística significativa ($p < 0.05$), siendo el amaranto el que tiene una mejor absorción de agua con 7.54 g agua*g muestra⁻¹, lo cual se debe a su alto contenido de carbohidratos ~ 70 % (principalmente almidón), lo cual ayuda a la formación de un gel en presencia de agua; mientras que la avena fue la de menor absorción de agua con 0.89 ± 0.02 g agua*g muestra⁻¹. González *et al.*, (2005) reportan un valor de 7.17 g agua/g harina para la capacidad de absorción de agua en la harina de grano de amaranto reventado, valor muy cercano a lo encontrado en el presente trabajo.

Cuadro 48. Propiedades funcionales de las materias primas crudas.

Muestra	Absorción de aceite (g aceite*g muestra ⁻¹)	Absorción de agua (g agua*g muestra ⁻¹)
Maíz	0.94 ± 0.02 cd	1.29 ± 0.02 d
Amaranto reventado	2.15 ± 0.03 a	7.54 ± 0.04 a
Avena	1.09 ± 0.04 b	0.89 ± 0.02 e
Trigo	1.00 ± 0.04 c	0.97 ± 0.02 e
Frijol	0.80 ± 0.03 ef	1.54 ± 0.05 c
Lenteja	0.73 ± 0.02 f	1.45 ± 0.01 c
Garbanzo	0.86 ± 0.02 de	1.33 ± 0.04 d
Soya	0.90 ± 0.03 d	1.84 ± 0.04 b

Letras iguales en una misma columna indican que no existe diferencia estadística significativa, a partir de un análisis de prueba de Tukey para un $\alpha = 0.05$.

4.4.1 Absorción de aceite (AAC) de las harinas de las mezclas extrudidas de cereal-leguminosas

Esta propiedad funcional está relacionada con la presencia de proteínas, ya que ésta tiene propiedades hidrofílicas e hidrofóbicas lo que puede interactuar con el agua y el aceite en los alimentos. Así, una baja absorción de aceite puede deberse a la presencia de largas proporciones de grupos hidrofílicos y aminoácidos polares en las superficies de las moléculas de proteína (Sadiq y Batool, 2010). La absorción de aceite es importante ya que actúa como retenedor del aroma y potenciador del sabor en la boca de los alimentos (Eltayeb *et al.*, 2011).

4.4.1.1 Mezclas maíz-leguminosas extrudidas

En el Cuadro 49, se presentan los valores promedio de la absorción de aceite, de los cuales se puede decir que la tendencia de dicho valor en las mezclas maíz-leguminosas extrudidas fue a aumentar con respecto a la mezcla cruda debido al proceso de extrusión; los incrementos fueron de 15.48 % en la mezcla maíz-garbanzo a una humedad del 28 % y temperatura de 110 °C, 75.34 % en la mezcla maíz-lenteja a una humedad del 28 % y una temperatura de 120 °C, 25 % en la mezcla maíz-frijol a una humedad del 28 % y una temperatura de 130 °C y 17.44 % en la mezcla maíz-soya a una humedad del 28 % y una temperatura de 120 °C. Siendo la mezcla maíz-lenteja la que mayor aumento tuvo en esta capacidad debido al proceso de extrusión y la de maíz-garbanzo la que presentó menos incremento.

Cuadro 49. Capacidad de absorción de aceite en las mezclas maíz-leguminosas.

Muestra	Absorción de aceite (g aceite*g muestra ⁻¹)			
	Maíz-Garbanzo	Maíz-Lenteja	Maíz-Frijol	Maíz-Soya
Maíz Leguminosa Cruda	0.84 ± 0.01 c	0.73 ± 0.02 c	0.76 ± 0.01 b	0.86 ± 0.01 d
Extrudido H=28 T=110	0.97 ± 0.02 a	0.85 ± 0.02 b	0.95 ± 0.01 a	0.93 ± 0.01 b
Extrudido H=28 T=120	0.83 ± 0.02 b	1.28 ± 0.04 a	0.93 ± 0.01 a	1.01 ± 0.01 a
Extrudido H=24 T=130	0.84 ± 0.00 b	1.25 ± 0.01 a	0.94 ± 0.02 a	0.86 ± 0.03 cd
Extrudido H=26 T=130	0.87 ± 0.00 b	0.88 ± 0.01 b	0.95 ± 0.02 a	0.92 ± 0.02 b
Extrudido H=28 T=130	0.83 ± 0.04 b	0.90 ± 0.02 b	0.95 ± 0.01 a	0.91 ± 0.01 bc

Letras iguales en una misma columna indican que no existe diferencia estadística significativa, a partir de un análisis de prueba de Tukey para un $\alpha = 0.05$.

4.4.1.2 Mezcla amaranto-leguminosas extrudidas

En el Cuadro 50, se presentan los valores de la capacidad de absorción de aceite para las mezclas de amaranto-leguminosas. Para las mezclas a base de garbanzo, lenteja y frijol se observa una tendencia al aumento del valor de absorción de aceite debido al proceso de extrusión, mientras que en el caso de mezcla con soya la tendencia fue a disminuir debido al proceso; en ambos casos en los tratamientos el valor permaneció constante. Los incrementos fueron de 12.33 % en la mezcla amaranto-garbanzo a una humedad del 28 % y temperatura de 130 °C, 20.27 % en la mezcla amaranto-lenteja a una humedad del 28 % y una temperatura de 110 °C y 19.88 % en la mezcla amaranto-frijol a una humedad del 28 % y una temperatura de 130 °C; mientras que en la mezcla amaranto-soya la disminución fue del 43.65 %. Por lo que la mejor mezcla respecto a esta propiedad fue la de amaranto-frijol, mientras que la de amaranto-soya fue la que se vio afectada al disminuir dicha propiedad funcional.

Cuadro 50. Capacidad de absorción de aceite en las mezclas amaranto-leguminosas.

Muestra	Absorción de aceite (g aceite*g muestra ⁻¹)			
	Amaranto-Garbanzo	Amaranto-Lenteja	Amaranto-Frijol	Amaranto-Soya
Amaranto Leguminosa Cruda	1.46 ± 0.00 e	1.48 ± 0.02 c	1.66 ± 0.03 c	1.81 ± 0.01 a
Extrudido H=28 T=110	1.54 ± 0.02 d	1.87 ± 0.02 a	1.81 ± 0.03 b	0.99 ± 0.01 b
Extrudido H=28 T=120	1.57 ± 0.01 c	1.78 ± 0.00 b	1.96 ± 0.04 a	0.98 ± 0.00 b
Extrudido H=24 T=130	1.56 ± 0.01 cd	1.72 ± 0.04 b	1.82 ± 0.02 b	1.02 ± 0.02 b
Extrudido H=26 T=130	1.60 ± 0.01 b	1.72 ± 0.02 b	1.97 ± 0.05 a	1.00 ± 0.02 b
Extrudido H=28 T=130	1.64 ± 0.01 a	1.77 ± 0.02 b	1.99 ± 0.01 a	1.01 ± 0.01 b

Letras iguales en una misma columna indican que no existe diferencia estadística significativa, a partir de un análisis de prueba de Tukey para un $\alpha = 0.05$.

4.4.1.3 Mezcla trigo-leguminosas extrudidas

Para las mezclas trigo-garbanzo y trigo-soya, la extrusión dio como resultado el aumento de la absorción de aceite. Mientras que en el caso de la mezcla trigo-lenteja y trigo-frijol, la extrusión no tuvo efecto estadísticamente diferente ($p > 0.05$), en relación a la mezclas crudas. Se tuvieron incrementos del 15.38 % y 20.43 % para las mezclas de trigo-garbanzo a una humedad del 28 % y temperatura de 130 °C y trigo-soya a una humedad del 28 % y una temperatura de 110 °C, respectivamente; siendo la última la que mejor absorción de aceite presentó (Cuadro 51).

Cuadro 51. Capacidad de absorción de aceite en las mezclas trigo-leguminosas.

Muestra	Absorción de aceite (g aceite*g muestra ⁻¹)			
	Trigo-Garbanzo	Trigo-Lenteja	Trigo-Frijol	Trigo-Soya
Trigo Leguminosa Cruda	0.91 ± 0.01 d	0.91 ± 0.02 a	0.93 ± 0.01 a	0.93 ± 0.01 c
Extrudido H=28 T=110	1.00 ± 0.03 b	0.95 ± 0.02 a	0.96 ± 0.02 a	1.12 ± 0.01 a
Extrudido H=28 T=120	0.97 ± 0.02 bc	0.90 ± 0.03 a	0.96 ± 0.05 a	1.06 ± 0.01 b
Extrudido H=24 T=130	0.95 ± 0.01 cd	0.91 ± 0.01 a	0.92 ± 0.05 a	0.96 ± 0.03 c
Extrudido H=26 T=130	1.05 ± 0.01 a	0.91 ± 0.01 a	1.00 ± 0.03 a	1.03 ± 0.03 b
Extrudido H=28 T=130	1.05 ± 0.01 a	0.96 ± 0.05 a	1.00 ± 0.02 a	1.01 ± 0.01 b

Letras iguales en una misma columna indican que no existe diferencia estadística significativa, a partir de un análisis de prueba de Tukey para un $\alpha = 0.05$.

4.4.1.4 Mezcla avena-leguminosas extrudidas

La mezcla avena-garbanzo, extrudida a una humedad del 28 % y temperatura de 130 °C, fue la que mejor absorción de aceite presentó, ya que la extrusión aumentó en un 4.49 % el valor respecto a la mezcla cruda, mientras que en las mezclas restantes (avena-lenteja, avena-frijol y avena-soya) la extrusión no tuvo efecto significativo sobre la absorción de aceite, ya que el valor prácticamente se mantuvo constante (Cuadro 52).

Cuadro 52. Capacidad de absorción de aceite en las mezclas avena-leguminosas.

Muestra	Absorción de aceite (g aceite*g muestra ⁻¹)			
	Garbanzo	Lenteja	Frijol	Soya
Avena Leguminosa Cruda	0.89 ± 0.01 b	0.91 ± 0.02 a	0.95 ± 0.01 a	0.89 ± 0.03 a
Extrudido H=28 T=110	0.91 ± 0.02 ab	0.91 ± 0.01 a	0.81 ± 0.01 c	0.87 ± 0.01 ab
Extrudido H=28 T=120	0.92 ± 0.01 a	0.87 ± 0.01 b	0.84 ± 0.02 b	0.83 ± 0.00 b
Extrudido H=24 T=130	0.90 ± 0.01 ab	0.83 ± 0.01 b	0.83 ± 0.01 bc	0.84 ± 0.01 b
Extrudido H=26 T=130	0.91 ± 0.01 ab	0.86 ± 0.01 b	0.84 ± 0.02 b	0.84 ± 0.01 ab
Extrudido H=28 T=130	0.93 ± 0.01 a	0.84 ± 0.01 b	0.86 ± 0.00 b	0.86 ± 0.01 ab

Letras iguales en una misma columna indican que no existe diferencia estadística significativa, a partir de un análisis de prueba de Tukey para un $\alpha = 0.05$.

4.4.2 Capacidad de retención de agua (CRA) de las harinas de las mezclas extrudidas de cereal-leguminosas

Esta respuesta en la harina en estudio puede estar relacionada con el contenido de almidón, proteína y fibra dietaria, fracciones caracterizadas por tener la propiedad de presentar una alta capacidad de absorción de agua (Granito *et al.*, 2004; Sangronis *et al.*, 2004).

4.4.2.1 Maíz-leguminosas extrudidas

En el Cuadro 53, se presenta la capacidad de retención de agua para las mezclas de maíz-leguminosas. Se puede observar que las mezclas de maíz-lenteja y maíz-soya son las que presentan una mayor capacidad de retención de agua. En general, la capacidad de retención de agua se modificó por el proceso de extrusión, ya que ésta

aumentó conforme se incrementó la temperatura de proceso, mientras que el factor nivel de humectación no tuvo un efecto muy marcado sobre dicha propiedad funcional.

Praderes *et al.*, (2009) reportan una capacidad de absorción de agua para la leguminosa denominada quinchoncho (*Cajanus cajan*) de 4.7 ± 0.03 g agua/g harina, después de ser sometida a tratamientos como fermentación por 4 horas, una cocción hasta reblandecimiento del grano y un secado. Por su parte, Torres y Guerra (2003) reportan para una harina instantánea compuesta de quinchoncho y maíz precocido (20:80) una capacidad de absorción de agua de 5.1 g agua/g harina. Montoya-Rodríguez *et al.*, (2010) indican una capacidad de absorción de agua de 3.64 g agua/g harina para una mezcla de maíz de alta calidad proteínica con garbanzo tostado (75:25).

En general, el proceso de extrusión aumentó la capacidad de retención de agua. Los incrementos fueron de 59.09 % en la mezcla maíz-garbanzo extrudida a una humedad del 28 % y temperatura de 130 °C, 100.77 % en la mezcla maíz-lenteja extrudida a una humedad del 26 % y temperatura de 130 °C, 70.92 % en la mezcla maíz-frijol extrudida a una humedad del 28 % y una temperatura de 130 °C y 71.62 % en la mezcla maíz-soya extrudida a una humedad del 24 % y temperatura de 130 °C; siendo la mezcla maíz-lenteja la que presentó el mayor aumento de esta propiedad funcional.

Cuadro 53. Capacidad de retención de agua en las mezclas maíz-leguminosas.

Muestra	Capacidad de Retención de agua (g agua/g harina)			
	Garbanzo	Lenteja	Frijol	Soya
Maíz-leguminosa crudos	1.32 ± 0.01 c	1.30 ± 0.03 d	1.41 ± 0.02 e	1.48 ± 0.02 c
Extrudido H = 28 y T = 110	1.81 ± 0.07 b	1.97 ± 0.05 c	1.54 ± 0.06 d	2.04 ± 0.07 b
Extrudido H = 28 y T = 120	1.85 ± 0.06 b	2.40 ± 0.02 b	2.03 ± 0.01 c	2.48 ± 0.05 a
Extrudido H = 24 y T = 130	1.91 ± 0.01 b	2.53 ± 0.04 a	2.19 ± 0.08 b	2.54 ± 0.05 a
Extrudido H = 26 y T = 130	2.10 ± 0.03 a	2.61 ± 0.03 a	2.28 ± 0.03 b	2.53 ± 0.02 a
Extrudido H = 28 y T = 130	2.09 ± 0.00 a	2.55 ± 0.06 a	2.41 ± 0.03 a	2.53 ± 0.05 a

Letras iguales en una misma columna indican que no existe diferencia estadística significativa, a partir de un análisis de prueba de Tukey para un $\alpha = 0.05$.

4.4.2.2 Amaranto-leguminosas extrudidas

En el Cuadro 54, se presentan los datos de capacidad de retención de agua para las mezclas amaranto-leguminosas. Estadísticamente no hay un efecto significativo ($p > 0.05$) entre las temperaturas de extrusión ni entre los diferentes niveles de humectación empleados, pero sí existe entre las mezclas crudas y las mezclas extrudidas, siendo la capacidad de retención de agua mayor en las harinas de las mezclas extrudidas. Los incrementos fueron de 216.15 % en la mezcla amaranto-garbanzo extrudida a una humedad del 28 % y temperatura de 130 °C, 189.94 % en la mezcla amaranto-lenteja procesada a una humedad del 28 % y temperatura de 120 °C, 198.24 % en la mezcla amaranto-frijol extrudida a una humedad del 24 % y temperatura de 130 °C y de 31.63 % en la mezcla amaranto-soya procesada a una humedad del 28 % y temperatura de 120 °C. Siendo en la mezcla amaranto-garbanzo donde se logró el mayor aumento de la absorción de agua con relación a la mezcla cruda.

Cuadro 54. Capacidad de retención de agua en las mezclas amaranto-leguminosas.

Muestra	Capacidad de Retención de agua (g agua/g harina)			
	Garbanzo	Lenteja	Frijol	Soya
Amaranto-leguminosa cruda	1.61 ± 0.03 d	1.69 ± 0.05 c	1.70 ± 0.06 b	1.96 ± 0.06 b
Extrudido H = 28 y T = 110	4.38 ± 0.06 c	4.71 ± 0.07 b	5.05 ± 0.05 a	2.41 ± 0.05 a
Extrudido H = 28 y T = 120	4.82 ± 0.03 b	4.90 ± 0.02 a	5.06 ± 0.05 a	2.58 ± 0.08 a
Extrudido H = 24 y T = 130	4.78 ± 0.03 b	4.79 ± 0.08 ab	5.07 ± 0.04 a	2.56 ± 0.05 a
Extrudido H = 26 y T = 130	4.74 ± 0.03 b	4.84 ± 0.07 ab	5.02 ± 0.06 a	2.42 ± 0.07 a
Extrudido H = 28 y T = 130	5.09 ± 0.08 a	4.85 ± 0.00 ab	5.03 ± 0.07 a	2.49 ± 0.07 a

Letras iguales en una misma columna indican que no existe diferencia estadística significativa, a partir de un análisis de prueba de Tukey para un $\alpha = 0.05$.

4.4.2.3 Mezclas avena-leguminosas extrudidas

En el Cuadro 55, se presentan los valores encontrados de capacidad de retención de agua en las mezclas de avena-leguminosas. En general el proceso de extrusión logró aumentar este valor en más del 100 %; la temperatura de proceso fue la que más efecto presentó sobre dicho valor, mientras que el nivel de humectación no presentó un efecto sobre la capacidad de absorción de agua. Las mezclas extrudidas a una humedad del 28 % y temperatura de 130 °C de avena-lenteja y avena-frijol son las que presentaron una mayor capacidad de absorción de agua, con un incremento en relación a la muestra cruda de 180.17 % y 239.13 %, respectivamente; mientras que las mezclas de avena-garbanzo y avena-soya procesadas a una humedad del 24 % y temperatura de 130 °C, tuvieron aumentos de 237.50 % y 152.14 %, respectivamente. Siendo la mezcla avena-frijol la que mejor absorción de agua presentó.

Cuadro 55. Capacidad de retención de agua en las mezclas avena-leguminosas.

Muestra	Capacidad de Retención de agua (g agua/g harina)			
	Garbanzo	Lenteja	Frijol	Soya
Avena-leguminosa crudas	0.96 ± 0.01 e	1.21 ± 0.03 d	1.15 ± 0.02 d	1.17 ± 0.03 d
Extrudido H = 28 y T = 110	2.59 ± 0.05 d	2.71 ± 0.04 c	3.51 ± 0.05 c	2.59 ± 0.04 c
Extrudido H = 28 y T = 120	2.72 ± 0.03 c	3.20 ± 0.05 b	3.65 ± 0.08 b	2.82 ± 0.03 b
Extrudido H = 24 y T = 130	3.24 ± 0.02 a	3.33 ± 0.06 a	3.90 ± 0.08 a	2.95 ± 0.06 a
Extrudido H = 26 y T = 130	3.16 ± 0.03 ab	3.37 ± 0.01 a	3.80 ± 0.08 ab	2.80 ± 0.06 b
Extrudido H = 28 y T = 130	3.15 ± 0.04 b	3.39 ± 0.04 a	3.85 ± 0.05 a	2.81 ± 0.06 b

Letras iguales en una misma columna indican que no existe diferencia estadística significativa, a partir de un análisis de prueba de Tukey para un $\alpha = 0.05$.

4.4.2.4 Mezclas trigo-leguminosas

En el Cuadro 56, se presentan los valores de capacidad de retención de agua de las mezclas trigo-leguminosas. Se observa que la mezcla trigo-garbanzo fue la que mayor agua absorbió. El nivel de humedad en general no tuvo efecto significativo sobre esta propiedad; mientras que los cambios más evidentes fueron en función de la temperatura de proceso, a medida que ésta aumentó la capacidad de absorción de agua se incrementó. Los incrementos de absorción de agua con respecto a las mezclas crudas fueron 190.99 % en la mezcla trigo-garbanzo, 128.83 % en la mezcla trigo-lenteja, 80.82 % en la mezcla trigo-frijol y 97.41 % en la mezcla trigo-soya; en los cuatro casos extrudidas a una humedad del 28 % y temperatura de 130 °C. Siendo la mezcla trigo-garbanzo la que mejor absorción de agua tuvo.

Cuadro 56. Capacidad de retención de agua en las mezclas trigo-leguminosas.

Muestra	Capacidad de Retención de agua (g agua/g harina)			
	Garbanzo	Lenteja	Frijol	Soya
Trigo-leguminosa crudos	1.11 ± 0.02 e	1.11 ± 0.04 e	1.25 ± 0.02 e	1.16 ± 0.02 e
Extrudido H = 28 y T = 110	1.57 ± 0.01 d	1.73 ± 0.05 d	1.91 ± 0.05 d	1.43 ± 0.02 d
Extrudido H = 28 y T = 120	2.08 ± 0.03 c	2.09 ± 0.06 c	2.10 ± 0.01 c	1.99 ± 0.05 c
Extrudido H = 24 y T = 130	3.13 ± 0.05 b	2.31 ± 0.01 b	2.20 ± 0.04 ab	2.11 ± 0.04 b
Extrudido H = 26 y T = 130	3.17 ± 0.02 ab	2.35 ± 0.06 b	2.16 ± 0.02 bc	2.28 ± 0.05 a
Extrudido H = 28 y T = 130	3.23 ± 0.01 a	2.54 ± 0.06 a	2.26 ± 0.03 a	2.29 ± 0.03 a

Letras iguales en una misma columna indican que no existe diferencia estadística significativa, a partir de un análisis de prueba de Tukey para un $\alpha = 0.05$.

En general, el proceso de extrusión aumentó las propiedades funcionales de absorción de aceite y de agua con respecto al valor de la mezcla cruda. Siendo las mezclas maíz-lenteja, amaranto-frijol, trigo-soya y avena-garbanzo las mejores mezclas en absorción de aceite con valores de 1.28, 1.99, 1.03 y 0.93 g aceite*g harina⁻¹, respectivamente, y aumentos por la extrusión de 75.34, 19.88, 20.43 y 4.49 %, respectivamente, en relación a las harinas de las mezclas crudas. En cuanto a la absorción de agua, las harinas que presentaron mejores valores fueron las mezclas de maíz-lenteja, amaranto-garbanzo, avena-frijol y trigo-garbanzo con valores de 2.61, 5.09, 3.90 y 3.23 g agua*g harina⁻¹, respectivamente, y aumentos del 100.77, 216.15, 239.13 y 190.99 %, respectivamente, en relación a las harinas de las mezclas crudas.

4.5 Desarrollo de alimentos con base en harinas extrudidas de cereal-leguminosas para personas de la tercera edad

4.5.1 Tamal y galletas con base en las mezclas maíz-leguminosas

4.5.1.1 Galletas con base en mezclas maíz-leguminosas

La formulación final empleada de las galletas se presenta en el Cuadro 57. El procedimiento se presenta en la Figura 17.

Cuadro 57. Formulación empleada para el desarrollo de las galletas con las mezclas maíz-leguminosas extrudidas

Ingrediente	Cantidad (%)
Harina de mezcla maíz-leguminosa extrudida	34.0
Huevos	25.2
Mantequilla	13.6
Leche entera en polvo	2.0
Azúcar	10.9
Fruta deshidratada (duraznos, manzanas, nueces)	13.6
Polvo para hornear	0.7

En base a esta formulación se calculó el valor nutritivo de las galletas elaboradas y dicha información se presenta en el Cuadro 58. Mientras que en el Cuadro 59, se presenta la composición de aminoácidos indispensables de los mismos productos.

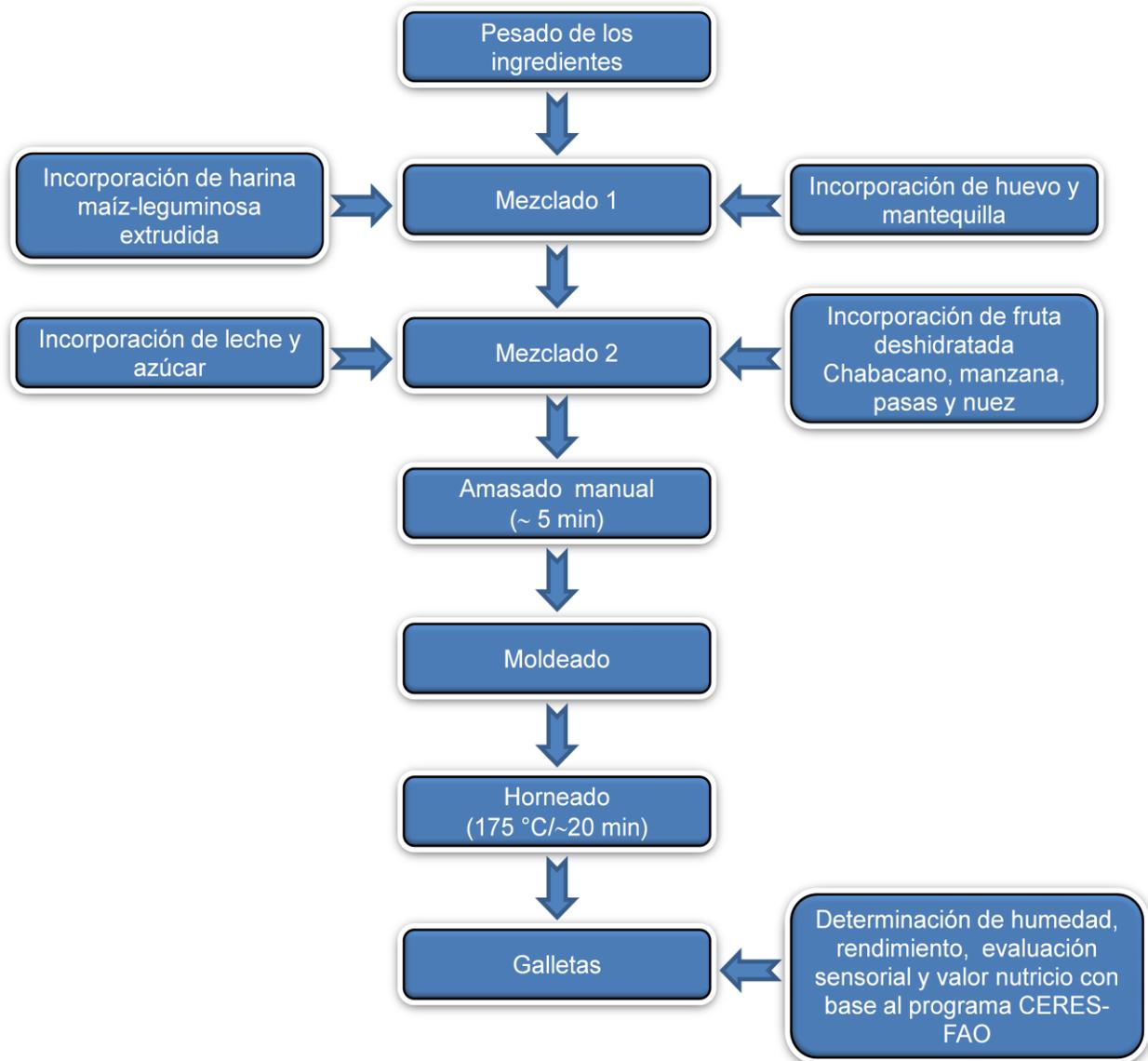


Figura 17. Proceso de elaboración de las galletas de frutas con las mezclas maíz-leguminosas.

Cuadro 58. Valor nutritivo de las galletas elaboradas a base de mezcla maíz-leguminosa extrudida (en 100 g de producto).

Parámetro	Unidad	Maíz-Garbanzo	Maíz-Lenteja	Maíz-Frijol	Maíz-soya
Energía	kcal	244.00	244.00	244.00	266.00
Proteína total	g	5.00	5.20	5.00	7.00
Proteína animal	g	3.50	3.50	3.50	3.50
Proteína vegetal	g	1.50	1.60	1.50	3.40
Grasa total	g	17.40	17.20	17.30	18.60
Grasa animal	g	14.40	14.30	14.30	14.30
Grasa vegetal	g	3.10	3.00	3.00	4.30
Ác. Grasos saturados	g	8.20	8.20	8.20	8.40
Ác. Grasos poliinsaturados	g	2.90	2.90	2.90	3.60
Ac. Esenciales	g	2.90	2.90	2.90	2.90
Colesterol	mg	170.00	170.00	170.00	170.00
Carbohidratos	g	17.50	17.60	17.40	18.20
Polisacáridos	g	4.30	4.30	4.30	3.20
Mono y disacáridos	g	12.90	13.10	12.90	12.80
Azúcar	g	10.80	10.80	10.80	10.80
Fibra	g	0.30	0.30	0.30	1.00
Vitamina A	µg	140.00	140.00	140.00	140.00
Retinol	µg	121.00	121.00	121.00	121.00
Caroteno	µg	115.00	115.00	114.00	114.00
Vitamina E	mg	0.80	0.80	0.90	0.80
Tocoferol	mg	0.70	0.70	0.70	0.70
Tiamina	mg	0.11	0.05	0.06	0.12
Niacina	mg	0.11	0.16	0.16	0.26
Riboflavina	mg	0.13	0.13	0.13	0.14
Piridoxina	mg	0.07	0.08	0.08	0.09
Ácido fólico	µg	17.00	14.00	17.00	39.00
Cobalamina	µg	0.41	0.41	0.41	0.41
Vitamina C	mg	0.30	0.30	0.30	0.70
Calcio	mg	45.00	43.00	44.00	56.00
Fósforo	mg	93.00	93.00	93.00	132.00
Hierro	mg	0.92	0.92	0.95	1.81
Sodio	mg	73.00	75.00	74.00	77.00
Potasio	mg	91.00	92.00	96.00	191.00
Cobre	mg	0.31	0.30	0.31	0.23
Zinc	mg	1.07	1.05	1.06	1.25

Fuente: Obtenido con el programa CERES+ versión 1.1 (FAO, 2003).

Cuadro 59. Composición en aminoácidos indispensables de las galletas elaboradas a base de mezcla maíz-leguminosa extrudida (en 100 g de producto).

Aminoácido	Unidad	Maíz-garbanzo	Maíz-lenteja	Maíz-Frijol	Maíz-soya
Histidina	mg	128.15	136.18	127.05	184.99
Isoleucina	mg	273.86	279.46	274.26	377.87
Leucina	mg	452.30	465.47	454.44	633.45
Lisina	mg	339.30	347.02	333.31	297.82
Metionina	mg	137.70	137.65	135.10	166.77
Cisteína	mg	106.11	108.83	106.24	98.38
Fenilalanina	mg	274.07	279.28	269.96	382.41
Tirosina	mg	198.28	205.09	194.96	183.09
Treonina	mg	233.25	240.25	235.87	321.51
Triptófano	mg	60.33	62.73	63.23	92.22
Valina	mg	309.60	319.93	342.55	286.95

Fuente: Obtenido con el programa CERES+ versión 1.1 (FAO, 2003).

1. Galleta a base de harina de la mezcla maíz-lenteja extrudida

Este producto presentó un rendimiento del 93.3 % con respecto a la masa cruda, con un número de 121 galletas y un peso promedio de 4.26 ± 0.41 g. La humedad final del producto fue de 1.6 ± 0.2 %. En la Figura 18, se muestra la fotografía del producto final.



Figura 18. Fotografía de la galleta a base de la mezcla maíz-lenteja.

✓ *Evaluación sensorial*

En la Figura 19, se muestra el gráfico de frecuencias correspondiente a la mezcla maíz lenteja. La calificación promedio fue de 5.8, con lo cual se encuentra en la zona de aceptación y equivaliendo prácticamente a me gusta (6). La intención de compra fue del 81 %, lo que se considera como un producto con posibilidades de comercialización.

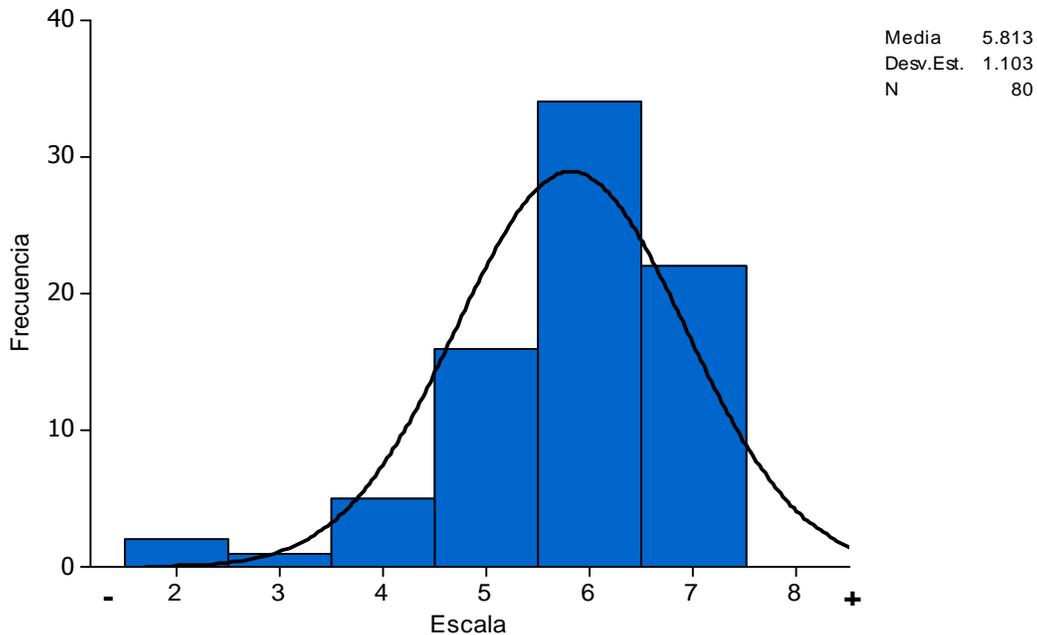


Figura 19. Frecuencias de aceptación de la galleta a base de la mezcla maíz-lenteja.

✓ *Beneficio a la salud del producto*

Considerando una porción de 6 piezas (~25.5 g), su composición nutricional y una ingesta diaria recomendada de 2000 kcal, para las personas de la tercera edad de 70 kg, se tiene un aporte del 5.19 % de la energía (103.7 kcal), 3.95 % de las proteínas (2.21 g), 4.53 % de carbohidratos (7.48 g), 7.31 % de grasas (7.31 g), 1.52 % de calcio (18.28 mg), 5.65 % de fósforo (39.53 mg), 4.89 % de hierro (0.39 g), 2.66 % de sodio (31.88 mg) y el 3.31 % de zinc (0.45 mg).

2. Galleta a base de harina de la mezcla maíz-soya extrudida

El rendimiento respecto a la masa cruda fue del 96.1 %, obteniéndose 129 galletas de 4.11 ± 0.39 g de peso en promedio. Presentó una humedad final de 1.4 %. En la Figura 20, se presenta la fotografía de la galleta elaborada.



Figura 20. Fotografía de la galleta a base de la mezcla maíz-soya.

✓ *Evaluación sensorial*

En la Figura 21, se muestra el gráfico de frecuencias correspondiente a la mezcla maíz soya. La calificación promedio fue de 5.3, la cual se encuentra en la zona de aceptación y equivaliendo prácticamente a me gusta ligeramente (5). La intención de compra fue del 93 %, lo que lo hace ver como un producto que puede ser comercializado.

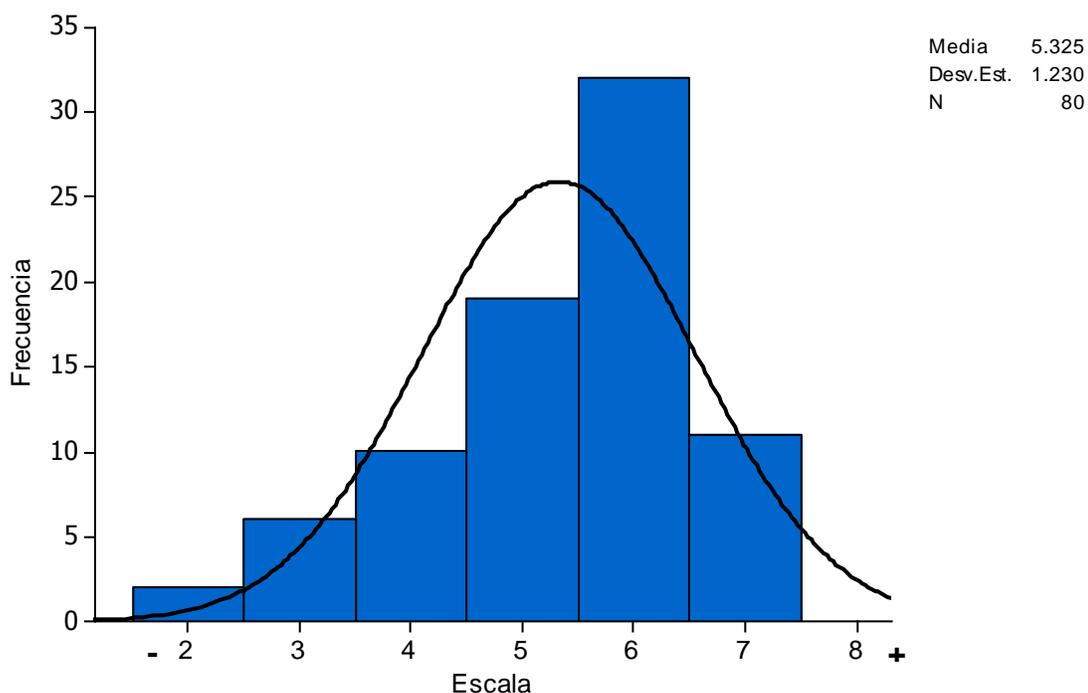


Figura 21. Frecuencias de aceptación de la galleta a base de la mezcla maíz-soya.

✓ *Beneficio a la salud del producto*

Considerando una porción de 6 piezas (~25.5 g), su composición nutricional y una ingesta diaria recomendada de 2000 kca, para las personas de la tercera edad de 70 kg, se tiene un aporte del 5.65 % de la energía (113.1 kcal), 5.31 % de las proteínas (2.98 g), 4.69 % de carbohidratos (7.74 g), 7.91 % de grasas (7.91 g), 1.98 % de calcio (23.80 mg), 8.01 % de fósforo (56.10 mg), 9.62 % de hierro (0.77 g), 2.73 % de sodio (32.73 mg) y el 3.94 % de zinc (0.53 mg).

3. Galleta a base de harina de la mezcla maíz-garbanzo extrudida

Para esta mezcla el rendimiento fue de 96.7 %, obteniéndose 117 galletas con un peso promedio de 4.58 ± 0.39 g. La humedad final fue de 1.5 ± 0.2 %. En la Figura 22, se muestra el producto obtenido.



Figura 22. Fotografía de la galleta a base de la mezcla maíz-garbanzo.

✓ *Evaluación sensorial*

En la Figura 23, se muestra el gráfico de frecuencias correspondiente a la mezcla maíz soya. La calificación promedio fue de 6.1, la cual se encuentran en la zona de aceptación y equivale a me gusta (6). La intención de compra fue del 94 %, siendo un producto apto para su comercialización.

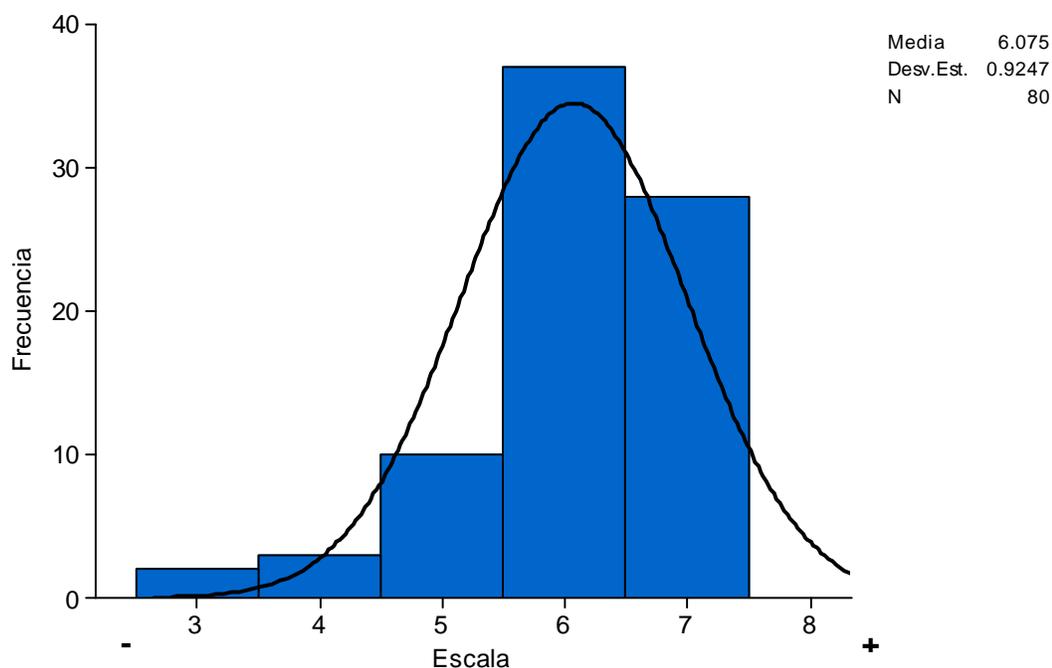


Figura 23. Frecuencias de aceptación de la galleta a base de la mezcla maíz-garbanzo.

✓ *Beneficio a la salud del producto*

Considerando una porción de 6 piezas (~25.5 g), su composición nutricional y una ingesta diaria recomendada de 2000 kcal, para las personas de la tercera edad de 70 kg, se tiene un aporte del 5.19 % de la energía (103.7 kcal), 3.79 % de las proteínas (2.13 g), 4.51 % de carbohidratos (7.44 g), 7.40 % de grasas (7.40 g), 1.59 % de calcio (19.13 mg), 5.65 % de fósforo (39.53 mg), 4.89 % de hierro (0.39 g), 2.59 % de sodio (31.03 mg) y el 3.37 % de zinc (0.45 mg).

4. Galleta a base de harina de la mezcla maíz-frijol extrudida

Con esta mezcla se obtuvo un rendimiento del 96 % respecto a la masa cruda, produciéndose 131 galletas con un peso promedio de 4.04 ± 0.42 g. La humedad final fue de 1.9 ± 0.1 %. En la Figura 24, se puede observar el producto final obtenido.



Figura 24. Fotografía de la galleta a base de la mezcla maíz-frijol.

✓ *Evaluación sensorial*

En la Figura 25, se muestra el gráfico de frecuencias correspondiente a la mezcla maíz frijol. La calificación promedio fue de 5.9, la cual se encuentran en la zona de aceptación y prácticamente equivale a me gusta (6). La intención de compra fue del 86 %, lo que lo hace un producto con futuro en el mercado.

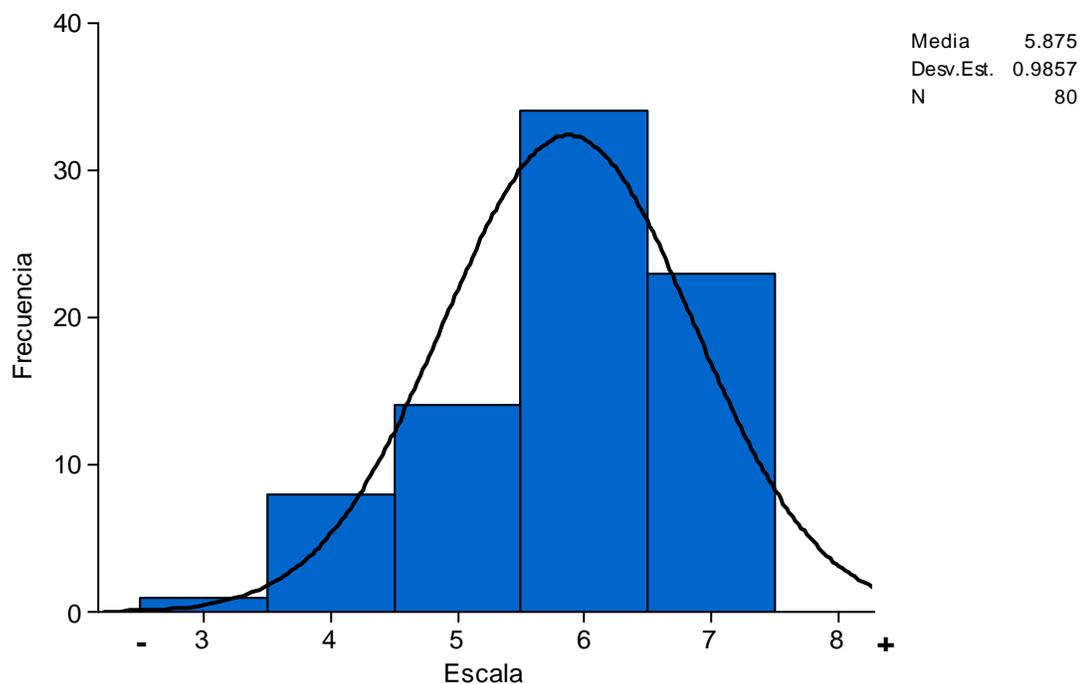


Figura 25. Frecuencias de aceptación de la galleta a base de la mezcla maíz-frijol.

✓ *Beneficio a la salud del producto*

Considerando una porción de 6 piezas (~25.5 g), su composición nutricional y una ingesta diaria recomendada de 2000 kcal, para las personas de la tercera edad de 70 kg, se tiene un aporte del 5.19 % de la energía (103.7 kcal), 3.79 % de las proteínas (2.13 g), 4.48 % de carbohidratos (7.40 g), 7.35 % de grasas (7.35 g), 1.56 % de calcio (18.70 mg), 5.65 % de fósforo (39.53 mg), 5.05 % de hierro (0.40 g), 2.62 % de sodio (31.45 mg) y el 3.34 % de zinc (0.45 mg).

4.5.1.2 Tamales con base en mezclas maíz-leguminosas

La formulación de los tamales se presenta en el Cuadro 60. Mientras que en la Figura 26, se presenta el diagrama de proceso para la obtención de los mismos.

Cuadro 60. Formulación empleada para el desarrollo de los tamales con las mezclas maíz-leguminosas extrudidas.

Ingrediente	Cantidad (%)
Harina extrudida	28.45
Manteca	14.22
Caldo de pollo	34.14
Sal	0.28
Royal	0.14
Relleno	22.76

En el Cuadro 61, se presenta el valor nutritivo de los tamales obtenido en base a la formulación empleada. Mientras que en el Cuadro 59, se presenta la composición de aminoácidos indispensables de dichos productos.

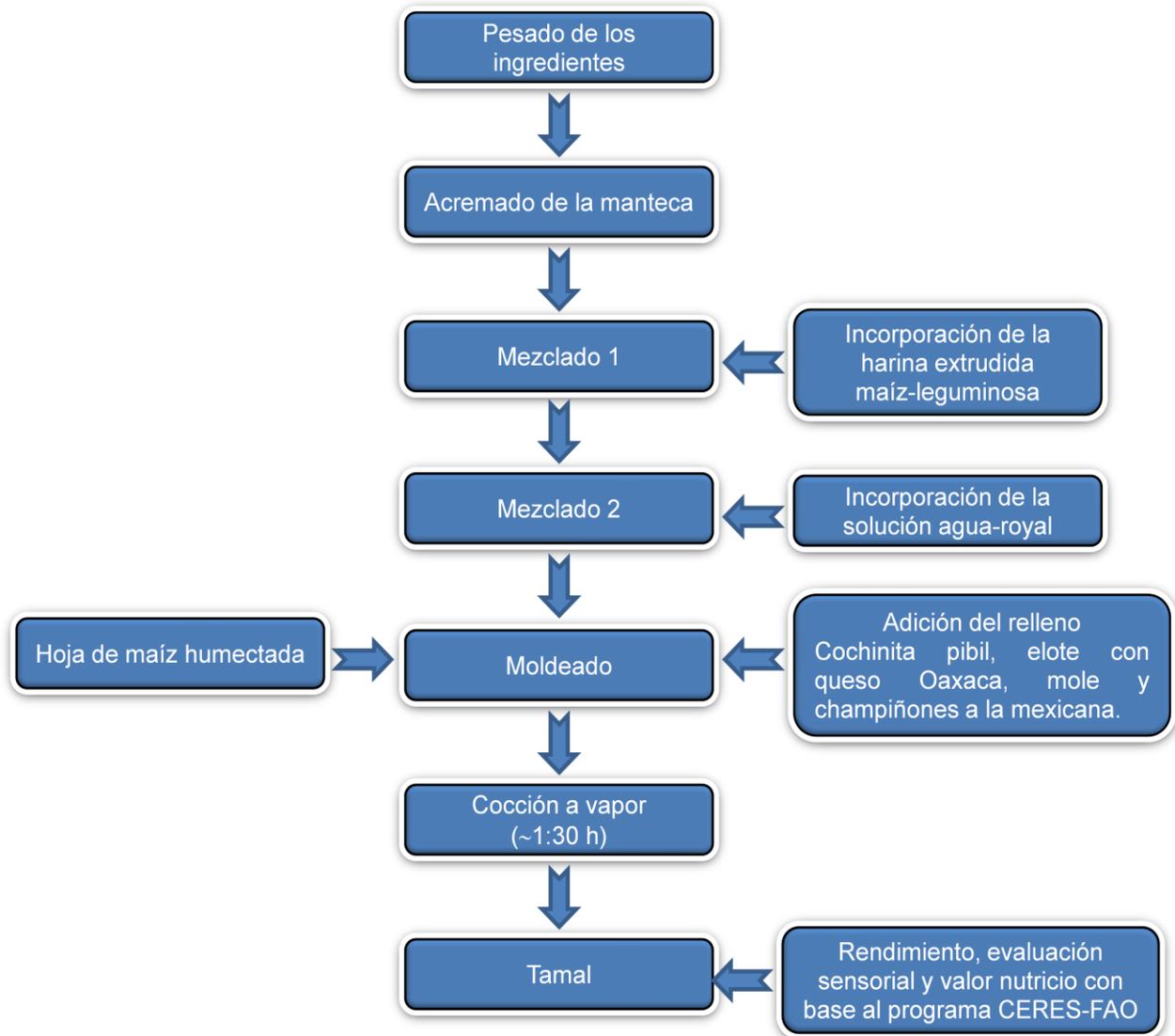


Figura 26. Proceso de elaboración de los tamales con las mezclas maíz-leguminosas.

Cuadro 61. Valor nutritivo de los tamales elaborados a base de mezcla maíz-leguminosa extrudida (en 100 g de producto).

Parámetro	Unidad	Maíz Garbanzo	Maíz Lenteja	Maíz Frijol	Maíz soya
Energía	kcal	212.00	201.00	210.00	217.00
Proteína total	g	5.90	4.30	4.90	5.20
Proteína animal	g	5.20	3.10	4.10	2.60
Proteína vegetal	g	0.70	1.20	0.70	2.60
Grasa total	g	18.60	17.80	18.90	19.20
Grasa animal	g	18.60	17.60	18.10	17.90
Grasa vegetal	g	0.10	0.20	0.70	1.20
Ác. Grasos saturados	g	7.20	7.70	6.70	7.80
Ác. Grasos poliinsaturados	g	1.70	1.70	3.20	2.40
Ac. Esenciales	g	1.80	1.70	3.30	1.80
Colesterol	mg	24.00	24.00	34.00	23.00
Carbohidratos	g	4.70	5.90	4.90	6.20
Polisacáridos	g	3.20	5.10	3.40	2.70
Mono y disacáridos	g	1.40	0.70	1.60	1.70
Fibra	g	0.20	0.20	0.20	0.90
Vitamina A	µg	19.00	40.00	67.00	54.00
Retinol	µg	17.00	33.00	66.00	45.00
Caroteno	µg	7.00	43.00	11.00	51.00
Vitamina E	mg	0.30	0.60	0.50	0.60
Tocoferol	mg	0.30	0.60	0.50	0.50
Tiamina	mg	0.19	0.02	0.03	0.08
Niacina	mg	0.94	0.26	1.49	0.59
Riboflavina	mg	0.07	0.05	0.05	0.08
Piridoxina	mg	0.07	0.02	0.08	0.04
Ácido fólico	µg	4.00	6.00	9.00	25.00
Cobalamina	µg	0.16	0.10	0.22	0.01
Vitamina C	mg	0.00	0.80	0.90	4.80
Calcio	mg	9.00	86.00	9.00	87.00
Fósforo	mg	57.00	87.00	48.00	102.00
Hierro	mg	0.94	0.48	0.57	1.24
Sodio	mg	249.00	198.00	191.00	251.00
Potasio	mg	77.00	56.00	81.00	171.00
Cobre	mg	0.25	0.23	0.23	0.19
Zinc	mg	1.04	0.65	0.55	0.75

Fuente: Obtenido con el programa CERES+ versión 1.1 (FAO, 2003).

Cuadro 62. Composición en aminoácidos indispensables de los tamales elaborados a base de mezcla maíz-leguminosa extrudida (en 100 g de producto).

Aminoácido	Unidad	Maíz-Garbanzo	Maíz-Lenteja	Maíz-Frijol	Maíz-Soya
Histidina	mg	261.52	113.25	89.21	145.16
Isoleucina	mg	260.60	63.55	149.86	137.17
Leucina	mg	452.39	387.00	255.86	454.47
Lisina	mg	346.99	273.93	243.06	208.73
Metionina	mg	127.84	96.81	75.54	104.69
Cisteína	mg	72.43	37.07	53.40	27.95
Fenilalanina	mg	238.07	205.75	140.40	258.62
Tirosina	mg	192.89	168.50	149.59	134.03
Treonina	mg	251.50	164.36	140.00	206.71
Triptófano	mg	69.64	39.24	36.20	59.34
Valina	mg	288.40	227.56	190.63	159.74

Fuente: Obtenido con el programa CERES+ versión 1.1 (FAO, 2003).

1. Tamal a base de harina de la mezcla maíz-lenteja extrudida

✓ *Evaluación sensorial*

En la Figura 27, se puede apreciar la fotografía del producto obtenido; además, en la Figura 28, se muestra el gráfico de frecuencias correspondiente a la mezcla maíz lenteja. La calificación promedio fue de 5.9, la cual se encuentra en la zona de aceptación y en términos prácticos sería equivalente a me gusta (6). La intención de compra fue del 100 %, siendo así un producto que tendría una oportunidad en el mercado.



Figura 27. Fotografía del tamal a base de la mezcla maíz-lenteja.

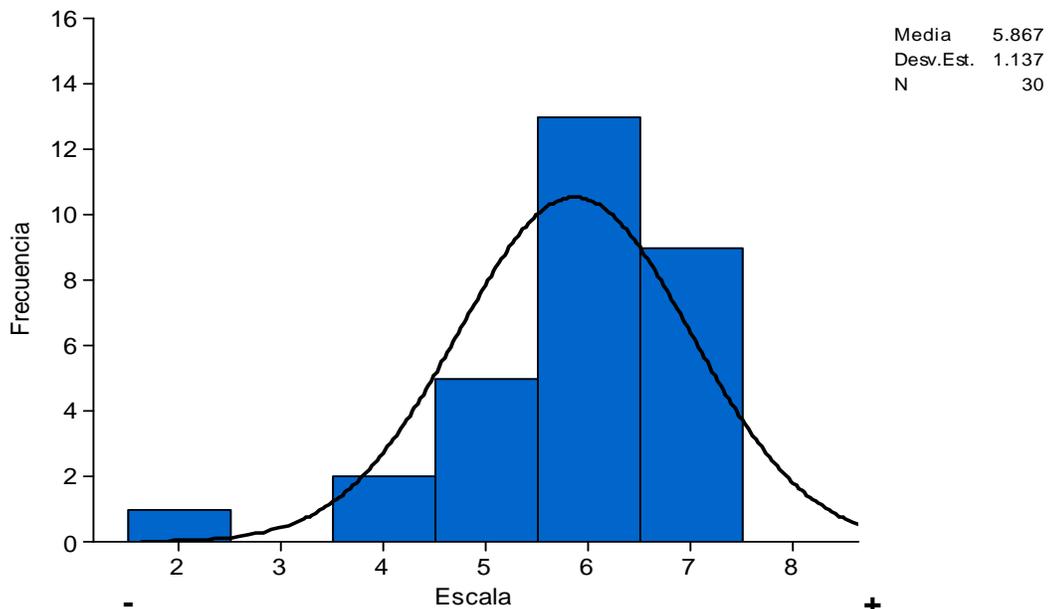


Figura 28. Frecuencias de aceptación del tamal a base de la mezcla maíz-lenteja.

✓ *Beneficio a la salud del producto*

Considerando una porción de 1 pieza (~86.5 g), su composición nutricional y una ingesta diaria recomendada de 2000 kcal, para las personas de la tercera edad de 70 kg, se tiene un aporte del 8.59 % de la energía (171.86 kcal), 6.57 % de las proteínas (3.68 g), 3.06 % de carbohidratos (5.04 g), 15.22 % de grasas (15.22 g), 6.13 % de calcio (73.53 mg), 10.63 % de fósforo (74.39 mg), 5.13 % de hierro (0.41 g), 14.11 % de sodio (169.29 mg) y el 4.12 % de zinc (0.56 mg).

2. Tamal a base de harina de la mezcla de maíz-soya extrudida

✓ *Evaluación sensorial*

En la Figura 29, se presenta la fotografía del tamal obtenido; mientras que en la Figura 30, se muestra el gráfico de frecuencias correspondiente a la mezcla maíz soya. La calificación promedio fue de 6.4, la cual se encuentran en la zona de aceptación y equivalente a me gusta (6). La intención de compra fue del 100 %, lo que lo hace un producto con futuro en el mercado.



Figura 29. Fotografía del tamal a base de la mezcla maíz-soya.

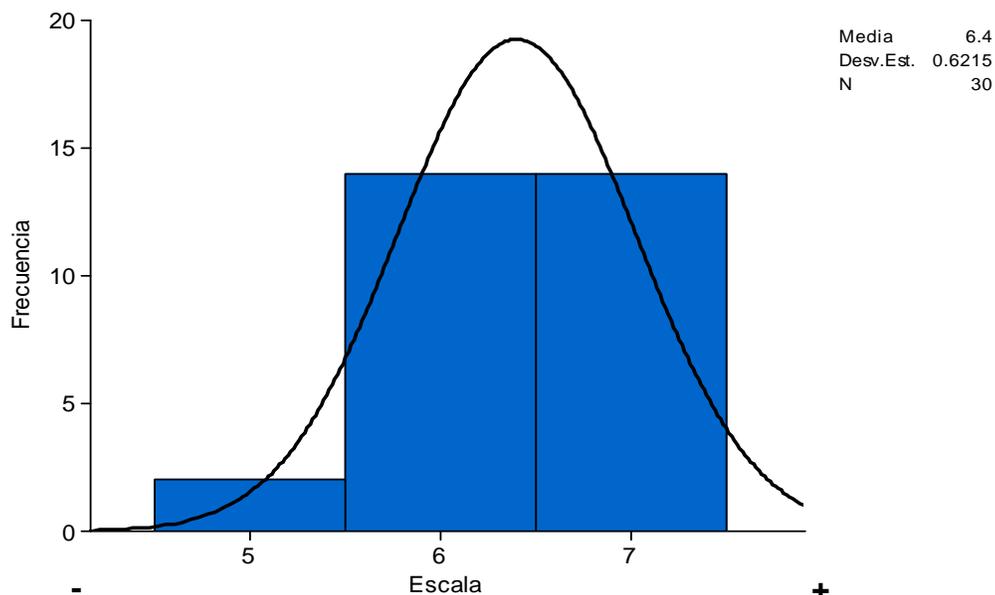


Figura 30. Frecuencias de aceptación del tamal a base de la mezcla maíz-soya.

✓ *Beneficio a la salud del producto*

Considerando una porción de 1 pieza (~86.5 g), su composición nutricional y una ingesta diaria recomendada de 2000 kcal, para las personas de la tercera edad de 70 kg, se tiene un aporte del 9.28 % de la energía (185.54 kcal), 7.94 % de las proteínas (4.45 g), 3.21 % de carbohidratos (5.30 g), 16.42 % de grasas (16.42 g), 6.20 % de calcio (74.39 mg), 12.46 % de fósforo (87.21 mg), 13.25 % de hierro (1.06 g), 17.88 % de sodio (214.61 mg) y el 4.75 % de zinc (0.64 mg).

3. Tamal a base de harina de la mezcla maíz-garbanzo extrudida

✓ Evaluación sensorial

En la Figura 31, se puede apreciar el tamal obtenido y en la Figura 32, se muestra el gráfico de frecuencias correspondiente a la mezcla maíz garbanzo. La calificación con mayor frecuencia fue de 5 y 6, con 23 y 50 % del total de jueces, las cuales se encuentran en la zona de aceptación equivalentes a me gusta ligeramente y me gusta. La intención de compra fue del 100 %, lo que lo hace un producto con futuro en el mercado.



Figura 31. Fotografía del tamal a base de la mezcla maíz-garbanzo.

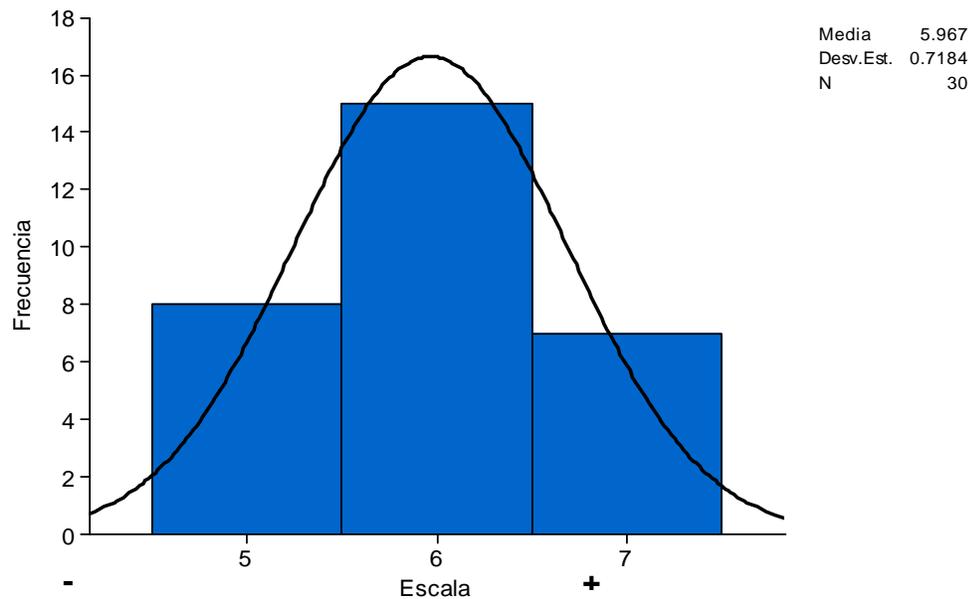


Figura 32. Frecuencias de aceptación del tamal a base de la mezcla maíz-garbanzo.

✓ *Beneficio a la salud del producto*

Considerando una porción de 1 pieza (~86.5 g), su composición nutricional y una ingesta diaria recomendada de 2000 kcal, para las personas de la tercera edad de 70 kg, se tiene un aporte del 9.06 % de la energía (181.26 kcal), 9.01 % de las proteínas (5.04 g), 2.44 % de carbohidratos (4.02 g), 15.90 % de grasas (15.90 g), 0.64 % de calcio (7.70 mg), 6.96 % de fósforo (48.74 mg), 10.05 % de hierro (0.80 g), 17.74 % de sodio (212.90 mg) y el 6.59 % de zinc (0.89 mg).

4. Tamal a base de harina de la mezcla maíz-frijol extrudida

✓ *Evaluación sensorial*

En la Figura 33, se puede observar la fotografía del producto obtenido; a su vez en la Figura 34, se muestra el gráfico de frecuencias correspondiente a la mezcla maíz frijol. La calificación promedio fue de 6.8, la cual se encuentran en la zona de aceptación y se traduce como me gusta mucho (7). A su vez la intención de compra fue del 100 %, lo que lo hace un producto con futuro en el mercado.



Figura 33. Fotografía del tamal a base de la mezcla maíz-frijol.

✓ *Beneficio a la salud del producto*

Considerando una porción de 1 pieza (~86.5 g), su composición nutricional y una ingesta diaria recomendada de 2000 kcal, para las personas de la tercera edad de 70 kg, se tiene un aporte del 8.98 % de la energía (179.55 kcal), 7.48 % de las proteínas (4.19 g), 2.54 % de carbohidratos (4.19 g), 16.16 % de grasas (16.16 g), 0.64 % de

calcio (7.70 mg), 5.86 % de fósforo (41.04 mg), 6.09 % de hierro (0.49 g), 13.61 % de sodio (163.31 mg) y el 3.48 % de zinc (0.47 mg).

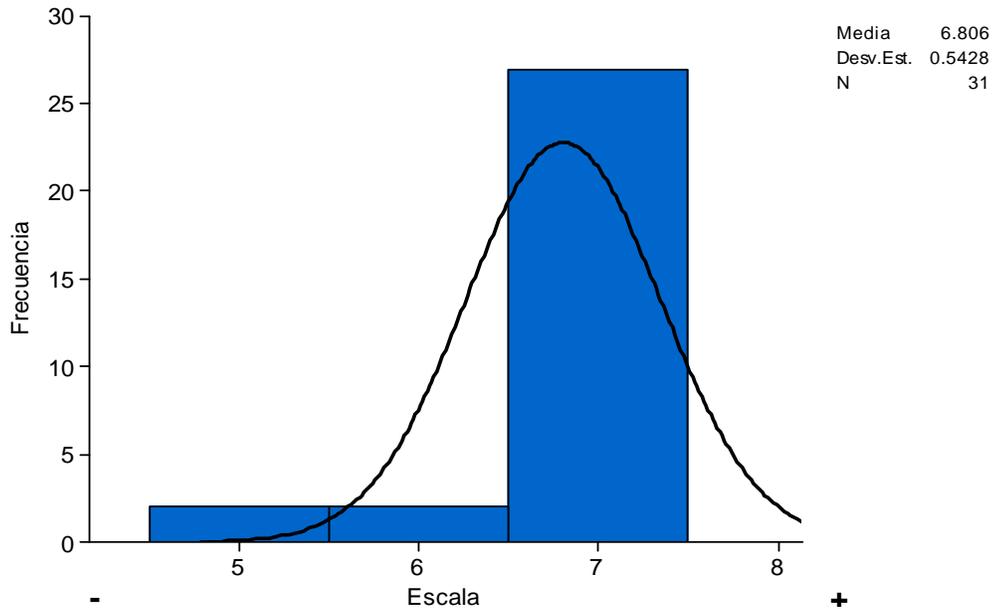


Figura 34. Frecuencias de aceptación del tamal a base de la mezcla maíz-frijol.

4.5.2 Panques con base en mezcla avena con leguminosas

Se elaboraron cuatro tipos de panqués, según las características de las mezclas (color y olor).

4.5.2.1 Panque a base de harina de la mezcla avena-frijol extrudida

Con esta mezcla se decidió desarrollar los panqués de chocolate, debido al color de la mezcla.

El rendimiento obtenido fue del 80.8 % con respecto a la masa cruda, produciéndose 86 panqués con un peso promedio de 13.04 ± 1.07 g y una altura de 2.59 ± 0.1 mm. La humedad final fue de 14.49 ± 0.68 %. En el Cuadro 63, se presenta la formulación empleada. En la Figura 35, se presenta el diagrama de proceso de elaboración de dicho producto; mientras que en la Figura 36, se presenta la fotografía del producto obtenido.

Cuadro 63. Formulación empleada en la elaboración de los panqués de avena-frijol

Ingrediente	Cantidad (%)
Harina extrudida	21.0
Agua	20.5
Azúcar mascabado	12.8
Mantequilla	12.1
Chispas de chocolate	10.4
Huevo	8.9
Cocoa	5.8
Azúcar refinada	5.5
Leche entera en polvo	1.6
Polvo para hornear	0.9
Glúten	0.4
Sal	0.1
Bicarbonato	0.1

✓ *Evaluación sensorial*

En la Figura 37, se muestra el gráfico de frecuencias correspondiente al panqué de la mezcla avena frijol. La calificación promedio fue de 5.4, la cual está en la zona de aceptación y equivale en términos prácticos a me gusta ligeramente (5). La intención fue de compra del 93 %, lo que representa una oportunidad en el mercado para este producto.

✓ *Beneficio a la salud del producto*

Considerando una porción de 6 piezas (~77.67 g), su composición nutricional y una ingesta diaria recomendada de 2000 kcal, para las personas de la tercera edad de 70 kg, se tiene un aporte del 10.52 % de la energía (210.49 kcal), 4.44 % de las proteínas (2.49 g), 15.02 % de carbohidratos (24.78 g), 11.81 % de grasas (11.81 g), 3.37 % de calcio (40.39 mg), 6.88 % de fósforo (48.16 mg), 12.82 % de hierro (1.03 g), 3.75 % de sodio (45.05 mg) y el 6.27 % de zinc (0.85 mg).

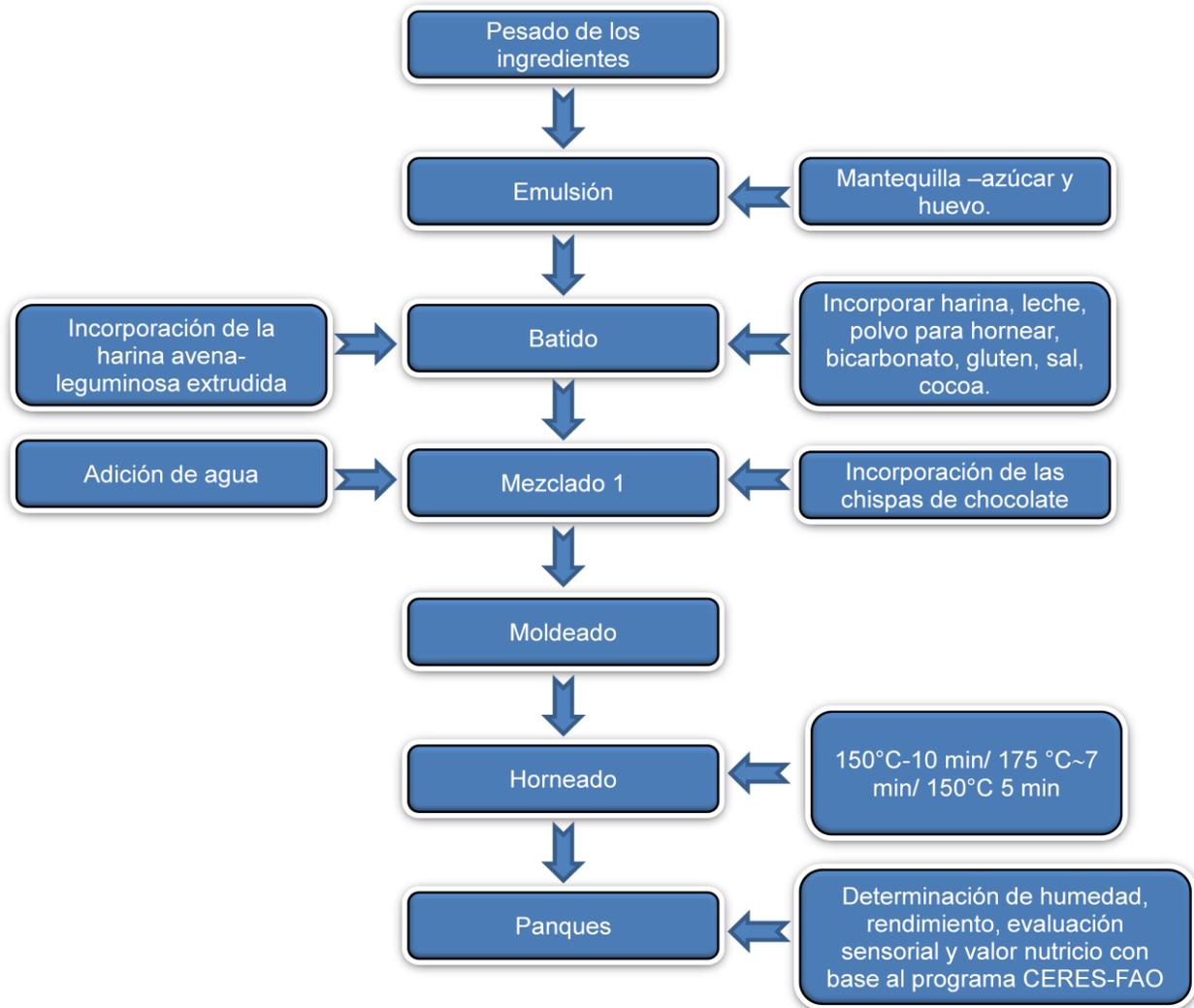


Figura 35. Proceso de elaboración de los panqués con la mezcla avena- frijol.



Figura 36. Fotografía del panqué a base de la mezcla avena-frijol.

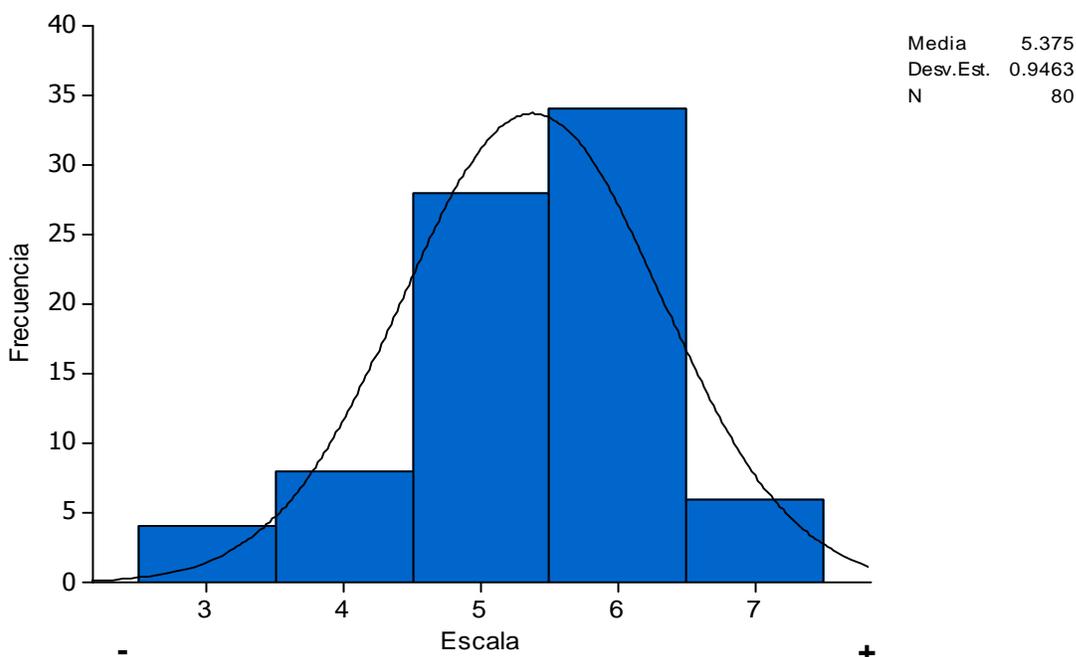


Figura 37. Frecuencias de aceptación del panqué a base de la mezcla avena-frijol.

4.5.2.2 Panque a base de harina de la mezcla avena-lenteja extrudida

Con esta mezcla se decidió desarrollar los panqués de salvado, debido al color de la mezcla. En el Cuadro 64, se presenta la formulación empleada. En la Figura 38, se muestra el diagrama de proceso empleado en la obtención del panqué.

Cuadro 64. Formulación empleada en la elaboración de los panqués de avena-lenteja

Ingrediente	Cantidad (%)
Harina extrudida	21.4
Jugo de piña	19.7
Azúcar mascabado	13.0
Huevo	11.1
Salvado	10.5
Pasas	10.5
Miel de abeja	6.8
Aceite comestible de maíz	5.7
Sal	0.6
Bicarbonato de sodio	0.6

El rendimiento obtenido fue del 81.1 % con respecto a la masa cruda, produciéndose 89 panqués con un peso promedio de 12.96 ± 0.73 g y una altura de 2.46 ± 0.05 mm.

La humedad final fue de 18.00 ± 0.29 %. En la Figura 39, se puede observar la fotografía del producto elaborado.

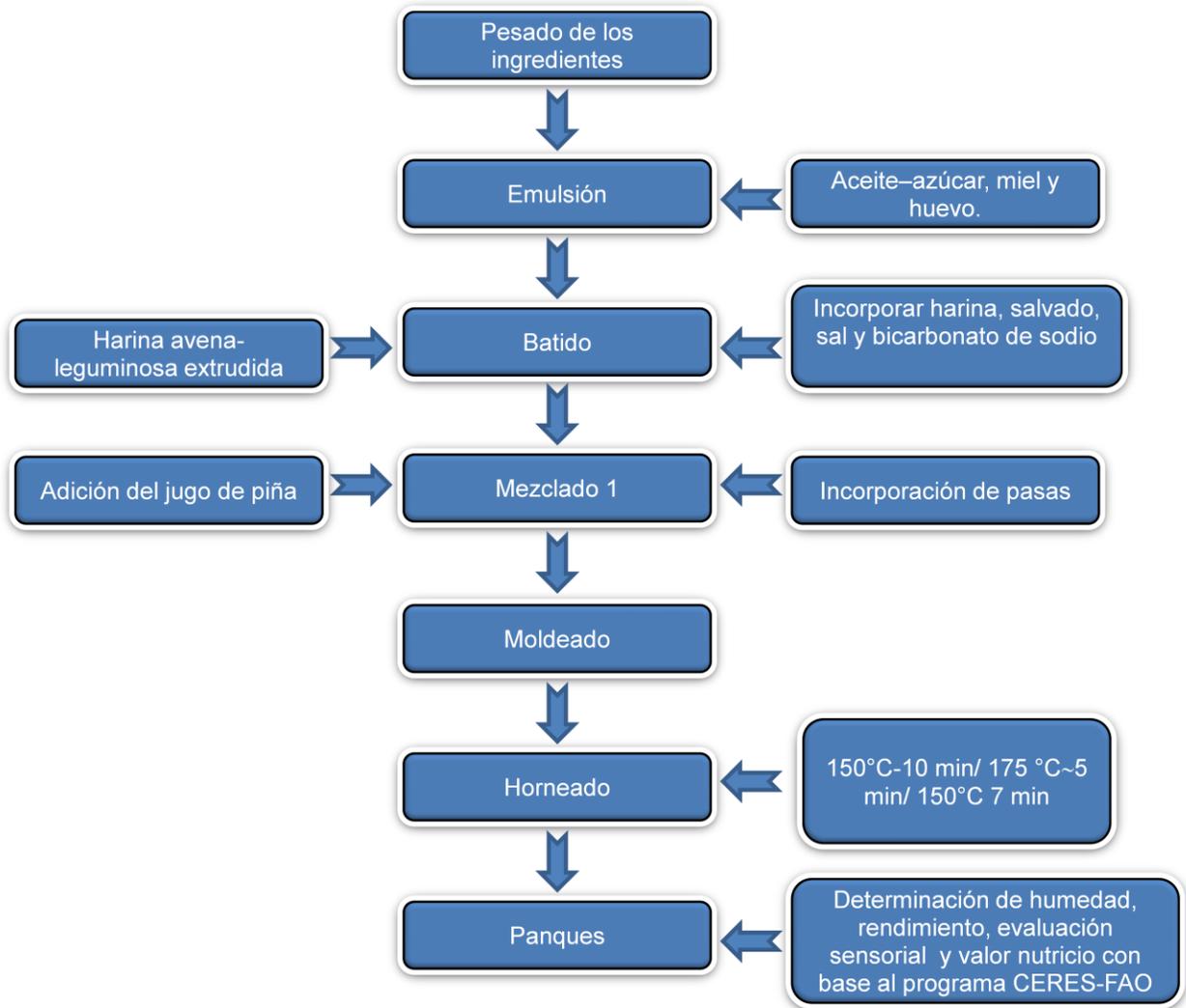


Figura 38. Proceso de elaboración de los panqués con la mezcla avena- lenteja.



Figura 39. Fotografía del panqué a base de la mezcla avena-lenteja.

✓ *Evaluación sensorial*

En la Figura 40, se muestra el gráfico de frecuencias correspondiente al panqué de la mezcla avena lenteja. La calificación promedio fue de 5.4, la cual está en la zona de aceptación y equivalente a me gusta ligeramente (5). La intención de compra fue del 87.5 %, lo que representa una oportunidad en el mercado para este producto.

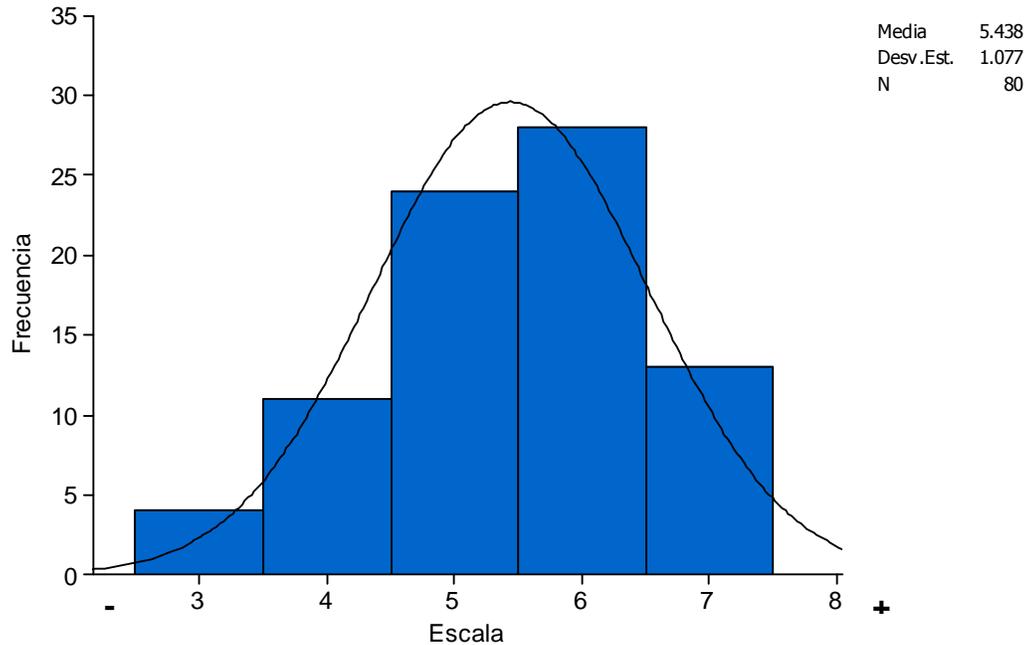


Figura 40. Frecuencias de aceptación del panqué a base de la mezcla avena-lenteja.

✓ *Beneficio a la salud del producto*

Considerando una porción de 6 piezas (~77.67 g), su composición nutricional y una ingesta diaria recomendada de 2000 kcal, para las personas de la tercera edad de 70 kg, se tiene un aporte del 8.89 % de la energía (177.86 kcal), 5.55 % de las proteínas (3.11 g), 17.65 % de carbohidratos (29.13 g), 6.06 % de grasas (6.06 g), 2.65 % de calcio (31.84 mg), 18.09 % de fósforo (126.60 mg), 29.51 % de hierro (2.36 g), 3.50 % de sodio (41.94 mg) y el 5.35 % de zinc (0.72 mg).

4.5.2.3 Panque a base de harina de la mezcla avena-soya extrudida

Con esta mezcla se decidió desarrollar los panqués de calabaza. En el Cuadro 65, se presenta la formulación empleada. En la Figura 41, se presenta el diagrama de proceso para la elaboración del panqué.

El rendimiento obtenido fue del 72.1 % con respecto a la masa cruda, produciéndose 91 panqués con un peso promedio de 11.20 ± 0.73 g y una altura de 2.46 ± 0.08 mm. La humedad final fue de 12.99 ± 0.81 %. En la figura 42, se puede apreciar la fotografía del producto final elaborado.

Cuadro 65. Formulación empleada en la elaboración de los panqués de avena-soya

Ingrediente	Cantidad (%)
Azúcar refinada	19.6
Calabacitas	18.7
Aceite comestible de maíz	14.2
Huevo	10.5
Harina extrudida	10.2
Harina fuerte	9.6
Nuez picada	7.9
Leche entera en polvo	7.9
Piloncillo	0.5
Polvo para hornear	0.3
Canela molida	0.3
Allspice	0.2
Bicarbonato de sodio	0.1
Sal	0.1

✓ *Evaluación sensorial*

En la Figura 43, se muestra el gráfico de frecuencias correspondiente al panqué de la mezcla avena-soya. La calificación promedio fue de 5.5, la cual está en la zona de aceptación y equivalente a me gusta (6). La intención de compra fue del 85.0 %, lo que representa una oportunidad en el mercado para este producto.

✓ *Beneficio a la salud del producto*

Considerando una porción de 6 piezas (~77.67 g), su composición nutricional y una ingesta diaria recomendada de 2000 kcal, para las personas de la tercera edad de 70 kg, se tiene un aporte del 13.94 % de la energía (278.84 kcal), 9.71 % de las proteínas (5.44 g), 15.53 % de carbohidratos (25.63 g), 18.10 % de grasas (18.10 g), 6.47 % de calcio (77.67 mg), 19.86 % de fósforo (139.03 mg), 14.08 % de hierro (1.13 g), 4.60 % de sodio (55.15 mg) y el 10.13 % de zinc (1.37 mg).

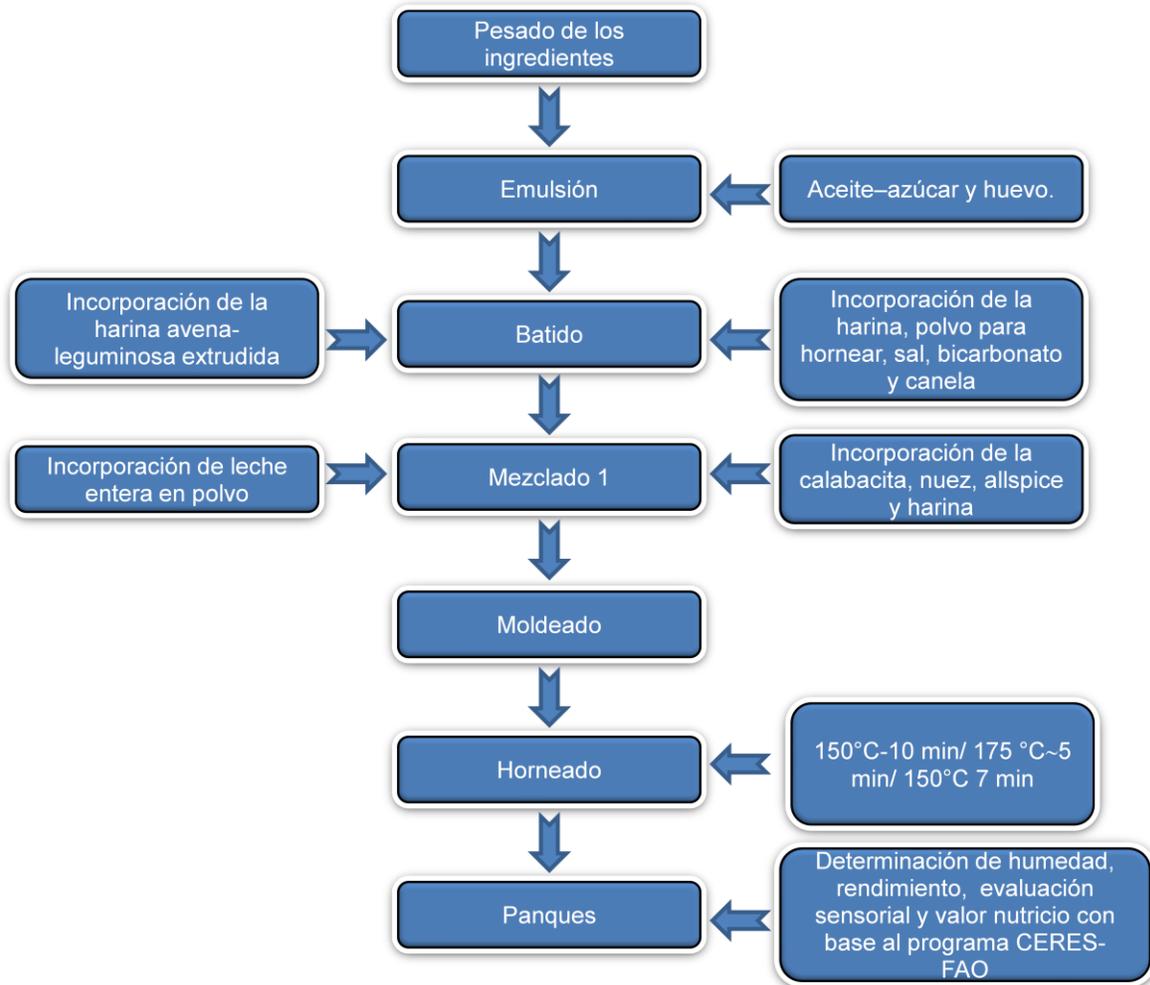
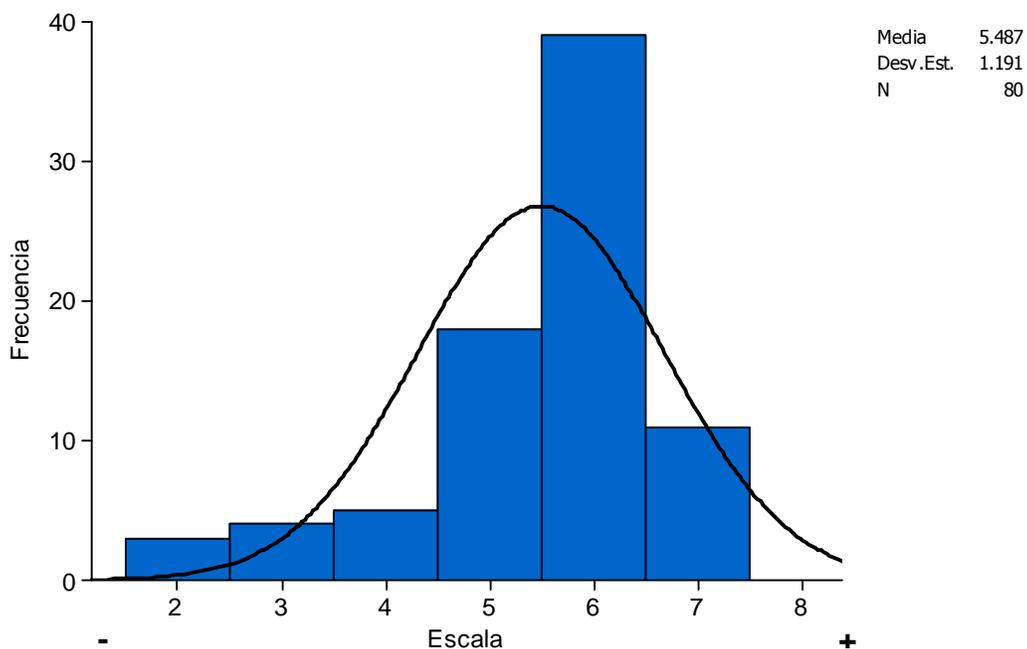


Figura 41. Proceso de elaboración de los panqués con la mezcla avena- soya.



42. Fotografía del panqué a base de la mezcla avena-soya.



43. Frecuencias de aceptación del panqué a base de la mezcla avena-soya.

4.5.2.4 Panque a base de harina de la mezcla avena-garbanzo extrudida

Con esta mezcla se decidió desarrollar los panqués de arándano. En el Cuadro 66, se presenta la formulación empleada. En la Figura 44, se presenta el diagrama de proceso de elaboración del panque.

Cuadro 66. Formulación empleada en la elaboración de los panqués de avena-garbanzo.

Ingredientes	Cantidad (%)
Harina extrudida	22.0
Azúcar mascabado	20.6
Leche entera en polvo	16.3
Huevos	10.4
Arándano deshidratado	7.8
Mantequilla	7.2
Miel de abeja	6.7
Harina fuerte	5.8
Vainilla	1.9
Polvo para hornear	0.8
Gluten	0.2
Sal	0.1
Bicarbonato	0.1

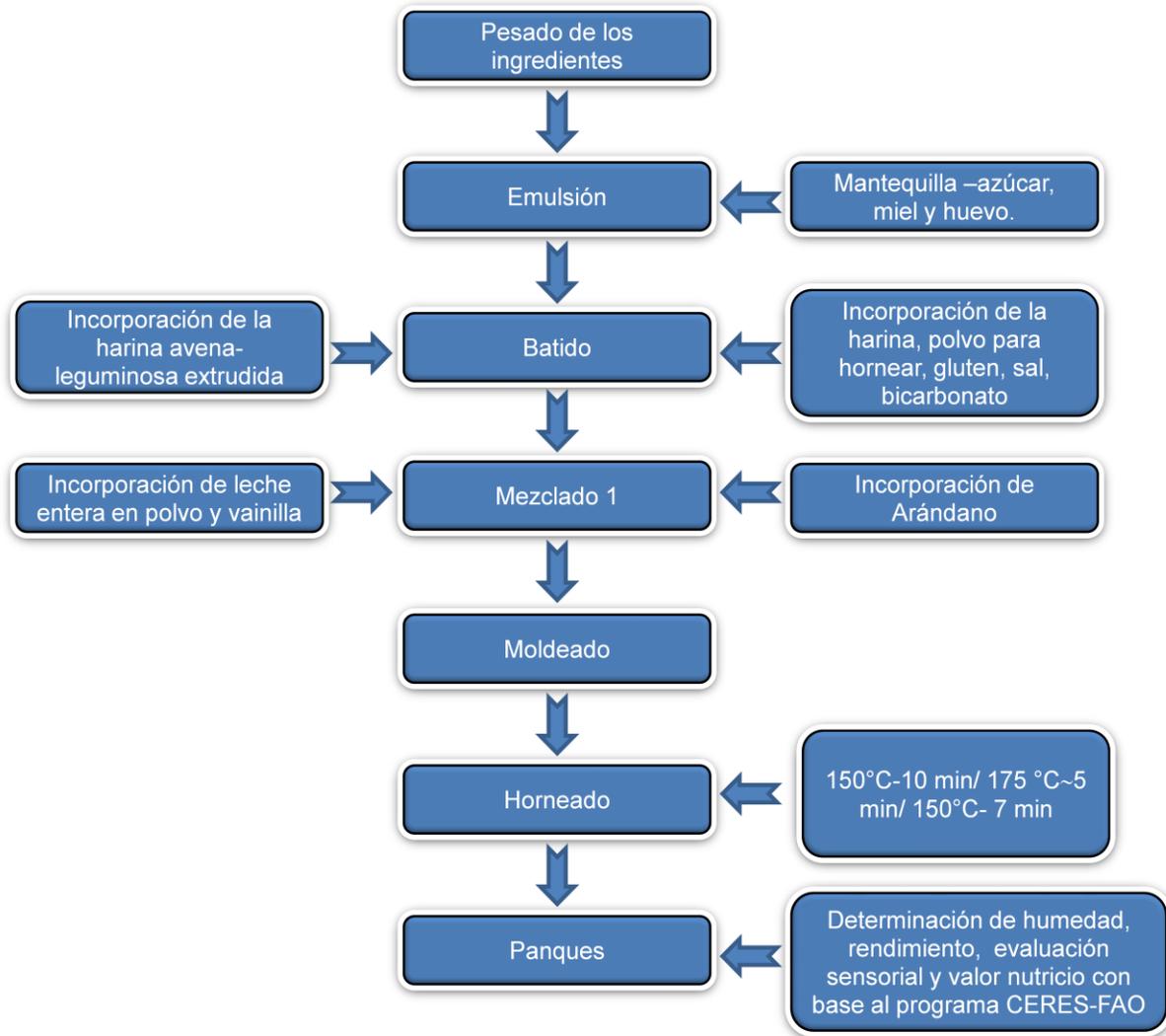


Figura 44. Proceso de elaboración de los panqués con las mezcla avena- garbanzo.

El rendimiento obtenido fue del 78.7 % con respecto a la masa cruda, produciéndose 74 panqués con un peso promedio de 14.58 ± 0.73 g y una altura de 2.92 ± 0.07 mm. En la Figura 45, se puede observar la fotografía del producto obtenido.

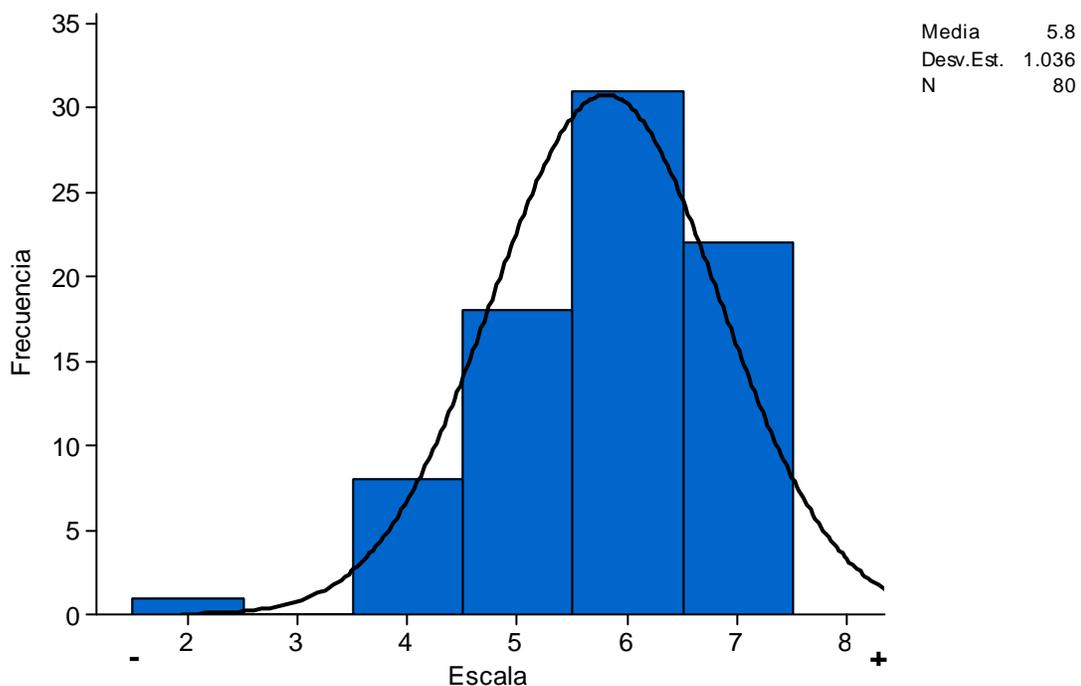
En el Cuadro 67, se presenta el valor nutricional de los panqués elaborados a base de las mezclas avena-leguminosas. A su vez, el Cuadro 68, presenta la composición de aminoácidos indispensables de dichos productos.



45. Fotografía del panqué a base de la mezcla avena-garbanzo.

✓ *Evaluación sensorial*

En la Figura 46, se muestra el gráfico de frecuencias correspondiente al panqué de la mezcla avena-garbanzo. La calificación promedio fue de 5.8, la cual está en la zona de aceptación y equivalente a me gusta (6). La intención de compra fue del 87.5 %, lo que representa una oportunidad en el mercado para este producto.



46. Frecuencias de aceptación del panqué a base de la mezcla avena-garbanzo.

Cuadro 67. Valor nutritivo de los panqués elaborados a base de mezcla avena-leguminosa extrudida (en 100 g de producto).

Parámetro	Unidad	Avena Garbanzo	Avena Lenteja	Avena Frijol	Avena soya
Energía	kcal	283.00	229.00	271.00	359.00
Proteína total	g	7.20	4.00	3.20	7.00
Proteína animal	g	5.50	1.30	1.50	3.30
Proteína vegetal	g	1.80	2.70	1.80	3.70
Grasa total	g	11.30	7.80	15.20	23.30
Grasa animal	g	11.10	1.20	11.20	3.10
Grasa vegetal	g	0.30	6.60	4.00	20.10
Ác. Grasos saturados	g	6.60	1.10	8.80	3.70
Ác. Grasos poliinsaturados	g	0.50	3.50	0.70	12.50
Ac. Esenciales	g	0.50	3.50	0.70	12.30
Colesterol	mg	88.00	61.00	77.00	65.00
Carbohidratos	g	39.10	37.50	31.90	33.00
Polisacáridos	g	6.90	5.90	5.30	8.40
Mono y disacáridos	g	32.00	30.30	26.40	23.30
Azúcar	g	19.80	14.30	21.80	19.40
Fibra	g	0.30	1.30	0.20	0.80
Vitamina A	µg	137.00	16.00	114.00	75.00
Retinol	µg	99.00	12.00	102.00	31.00
Caroteno	µg	225.00	27.00	71.00	261.00
Vitamina E	mg	0.50	1.20	0.40	2.70
Tocoferol	mg	0.70	1.50	0.60	2.60
Tiamina	mg	0.12	0.12	0.10	0.17
Niacina	mg	0.50	2.42	0.15	0.71
Riboflavina	mg	0.27	0.10	0.14	0.20
Piridoxina	mg	0.11	0.21	0.04	0.16
Ácido fólico	µg	12.00	34.00	9.00	31.00
Cobalamina	µg	0.67	0.14	0.18	0.39
Vitamina C	mg	1.00	2.50	0.10	2.40
Calcio	mg	179.00	41.00	52.00	100.00
Fósforo	mg	189.00	163.00	62.00	179.00
Hierro	mg	1.60	3.04	1.32	1.45
Sodio	mg	133.00	54.00	58.00	71.00
Potasio	mg	168.00	198.00	120.00	183.00
Cobre	mg	0.25	0.11	0.56	0.17
Zinc	mg	0.94	0.93	1.09	1.76

Fuente: Obtenido con el programa CERES+ versión 1.1 (FAO, 2003).

✓ *Beneficio a la salud del producto*

Considerando una porción de 6 piezas (~77.67 g), su composición nutricional y una ingesta diaria recomendada de 2000 kcal, para las personas de la tercera edad de 70 kg, se tiene un aporte del 10.99 % de la energía (219.81 kcal), 9.99 % de las proteínas (5.59 g), 18.41 % de carbohidratos (30.33 g), 8.78 % de grasas (8.78 g), 11.59 % de calcio (139.03 mg), 20.97 % de fósforo (146.80 mg), 15.53 % de hierro (1.24 g), 8.61 % de sodio (103.30 mg) y el 5.41 % de zinc (0.73 mg).

Cuadro 68. Composición en aminoácidos indispensables de los panqués elaborados a base de mezcla avena-leguminosa extrudida (en 100 g de producto).

Aminoácido	Unidad	Avena-Garbanzo	Avena-Lenteja	Avena-Frijol	Avena-Soya
Histidina	mg	229.87	144.50	106.07	204.42
Isoleucina	mg	464.98	230.14	215.09	413.62
Leucina	mg	771.94	404.48	360.38	677.04
Lisina	mg	587.00	291.82	265.02	392.70
Metionina	mg	197.35	112.02	91.71	170.84
Cisteína	mg	143.80	136.95	93.59	128.28
Fenilalanina	mg	452.31	273.45	259.19	412.14
Tirosina	mg	358.97	184.42	159.54	258.36
Treonina	mg	370.87	213.43	181.23	331.56
Triptófano	mg	118.08	67.73	58.91	106.74
Valina	mg	551.90	307.83	293.17	435.28

Fuente: Obtenido con el programa CERES+ versión 1.1 (FAO, 2003).

4.5.3 Base para pizzas a partir de las mezclas trigo-leguminosas

4.5.3.1 Mezcla trigo-frijol extrudida

Con esta mezcla se elaboró la base para una pizza mexicana. En el Cuadro 69, se presenta la formulación empleada. En la Figura 47, se muestra el diagrama de proceso para la obtención del producto.

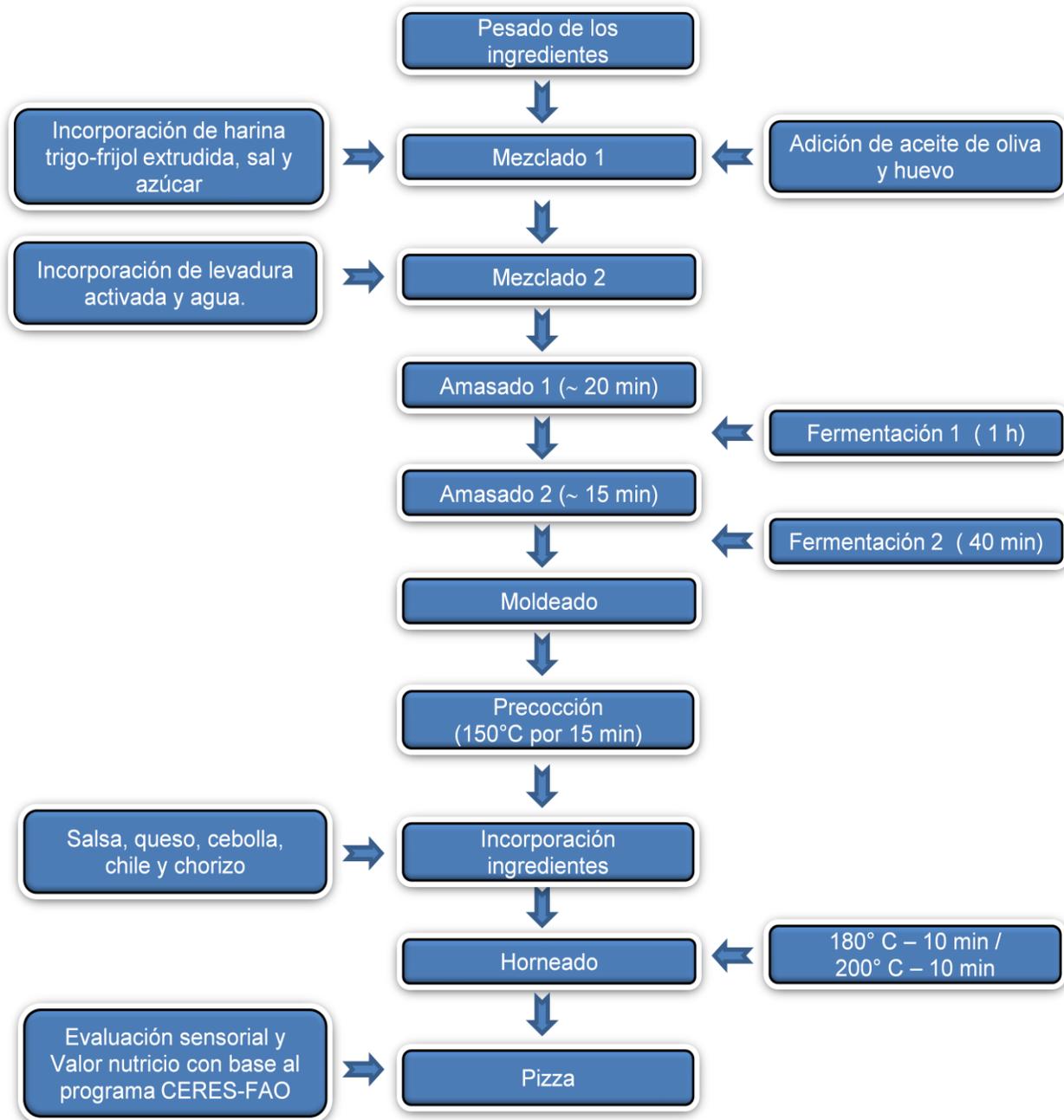


Figura 47. Proceso de elaboración de las pizzas con la mezcla trigo-frijol.

Cuadro 69. Formulación empleada en la elaboración de la base para pizza y su complemento a partir de la mezcla de trigo-frijol.

Ingredientes	Cantidad (%)
Harina extrudida	27.6
Agua	13.8
Sal	0.6
Azúcar	0.6
Levadura	0.6
Aceite de oliva	2.5
Huevo	7.7
Salsa de tomate	11.1
Queso mozzarella	13.8
Queso mezcla	3.1
Frijol	2.8
Cebolla	3.5
Chile en vinagre	3.5
Chorizo	9.0

✓ *Evaluación sensorial*

En la Figura 48, se muestra el gráfico de frecuencias correspondiente a la pizza de la mezcla trigo-frijol. La calificación promedio fue de 5.9, la cual está en la zona de aceptación y en términos prácticos equivale a me gusta (6). La intención de compra fue del 90.0 %, lo que representa una oportunidad en el mercado para este producto.

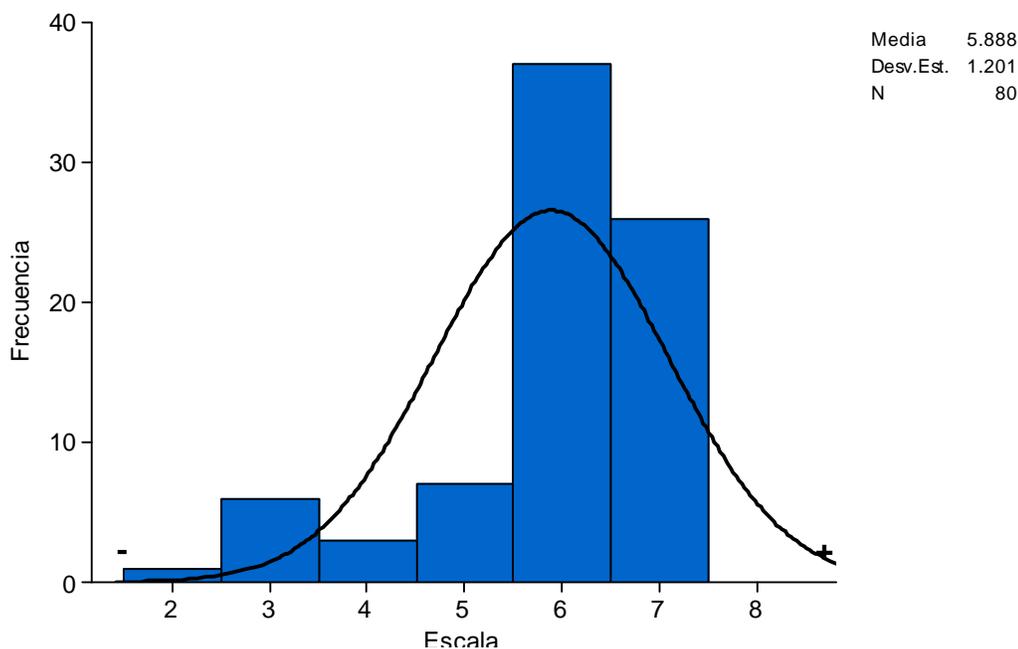


Figura 48. Frecuencias de aceptación de la pizza a partir de trigo-frijol extrudido.

✓ *Beneficio a la salud del producto*

Considerando una porción de 1 pizza individual (~200 g), su composición nutricional y una ingesta diaria recomendada de 2000 kcal, para las personas de la tercera edad de 70 kg, se tiene un aporte del 19.40 % de la energía (388 kcal), 36.43 % de las proteínas (20.40 g), 20.85 % de carbohidratos (34.40 g), 19.80 % de grasas (19.80 g), 18.33 % de calcio (220 mg), 56.29 % de fósforo (394 mg), 51.50 % de hierro (4.12 g), 35.83 % de sodio (430 mg) y el 18.07 % de zinc (2.44 mg).

4.5.3.2 Mezcla trigo-lenteja extrudida

Con esta mezcla se elaboró la base para una pizza vegetariana. En el Cuadro 70, se presenta la formulación empleada. En la Figura 49, se presenta el diagrama de proceso para la elaboración del producto.

Cuadro 70. Formulación empleada en la elaboración de la base para pizza y su complemento a partir de la mezcla de trigo-lenteja.

Ingrediente	Cantidad (%)
Harina extrudida	28.3
Agua	14.2
Sal	0.4
Azúcar	0.6
Levadura	0.6
Aceite de oliva	2.5
Huevo	6.8
Salsa de tomate	14.2
Queso mozzarella	14.2
Queso mezcla	3.2
Champiñon	8.8
Cebolla	2.8
Pimiento verde	3.5

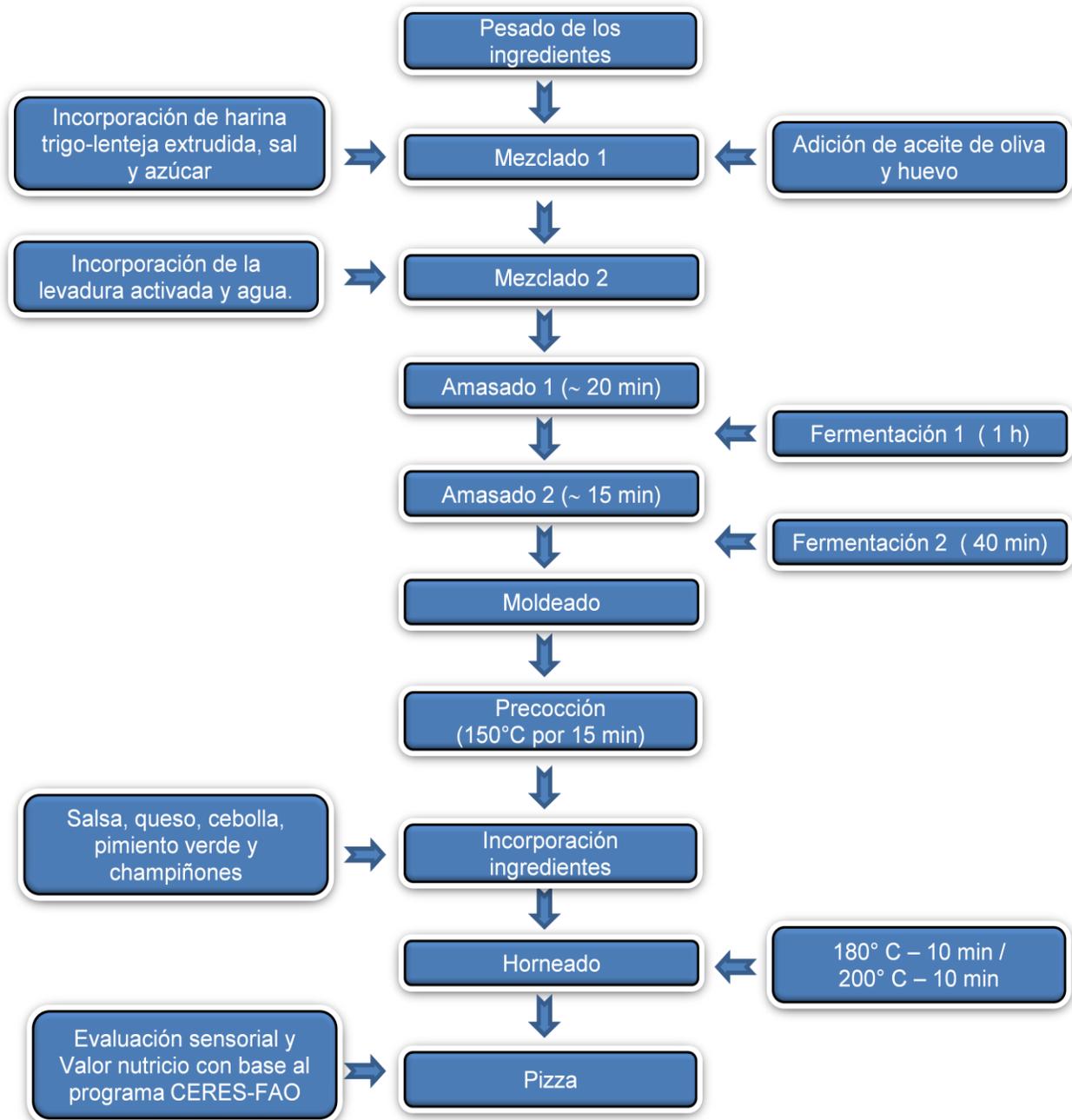


Figura 49. Proceso de elaboración de las pizzas con la mezcla trigo-lenteja.

✓ *Evaluación sensorial*

En la Figura 50, se muestra el gráfico de frecuencias correspondiente a la pizza de la mezcla trigo-lenteja. La calificación promedio fue de 5.6, la cual está en la zona de aceptación y equivalente a me gusta (6). La intención de compra fue del 78.8 %, lo que representa una oportunidad en el mercado para este producto.

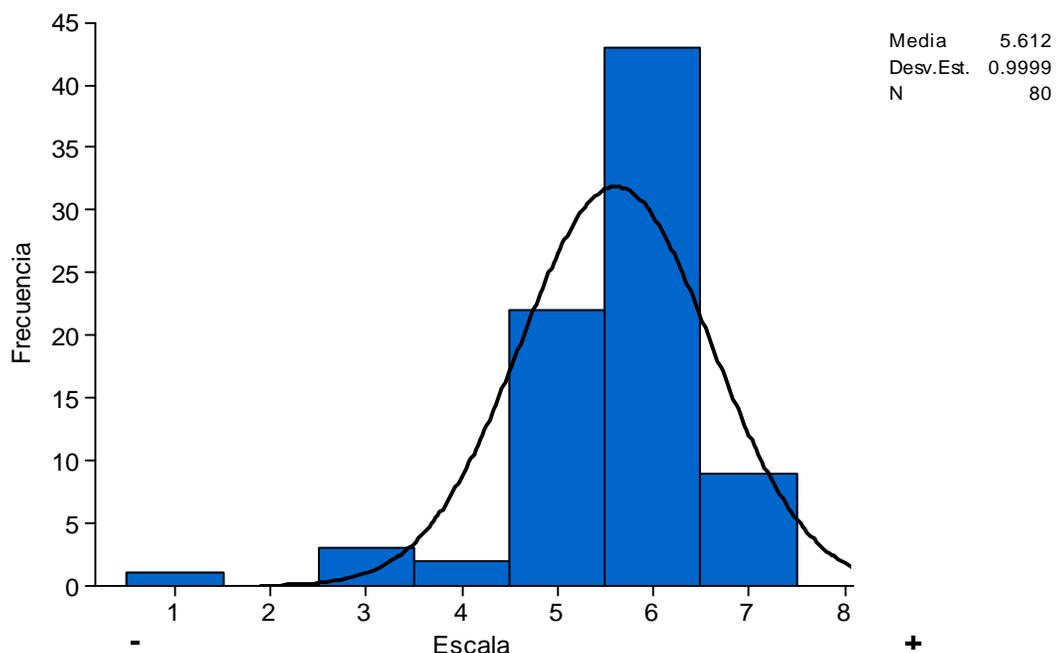


Figura 50. Frecuencias de aceptación de la pizza a partir de la mezcla trigo-lenteja.

✓ *Beneficio a la salud del producto*

Considerando una porción de 1 pizza individual (~200 g), su composición nutricional y una ingesta diaria recomendada de 2000 kcal, para las personas de la tercera edad de 70 kg, se tiene un aporte del 15.60 % de la energía (312 kcal), 29.29 % de las proteínas (16.40 g), 20.48 % de carbohidratos (33.80 g), 13.80 % de grasas (13.80 g), 17.67 % de calcio (212 mg), 49.14 % de fósforo (344 mg), 39.75 % de hierro (3.18 g), 38.83 % de sodio (466 mg) y el 13.93 % de zinc (1.88 mg).

4.5.3.3 Mezcla trigo-soya extrudida

En el Cuadro 71, se presenta la formulación empleada. En la Figura 51, se muestra el proceso seguido para la obtención de la pizza.

Cuadro 71. Formulación empleada en la elaboración de la base para pizza y su complemento a partir de la mezcla de trigo-soya.

Ingrediente	Cantidad (%)
Harina extrudida	30.3
Agua	16.7
Sal	0.5
Azúcar	0.6
Levadura	0.9
Aceite de oliva	3.0
Huevo	7.3
Ajo en polvo	0.3
Gluten	0.9
Bicarbonato	0.2
Salsa de tomate	15.2
Queso mozzarella	15.2
Queso mezcla	3.4
Peperoni	5.7

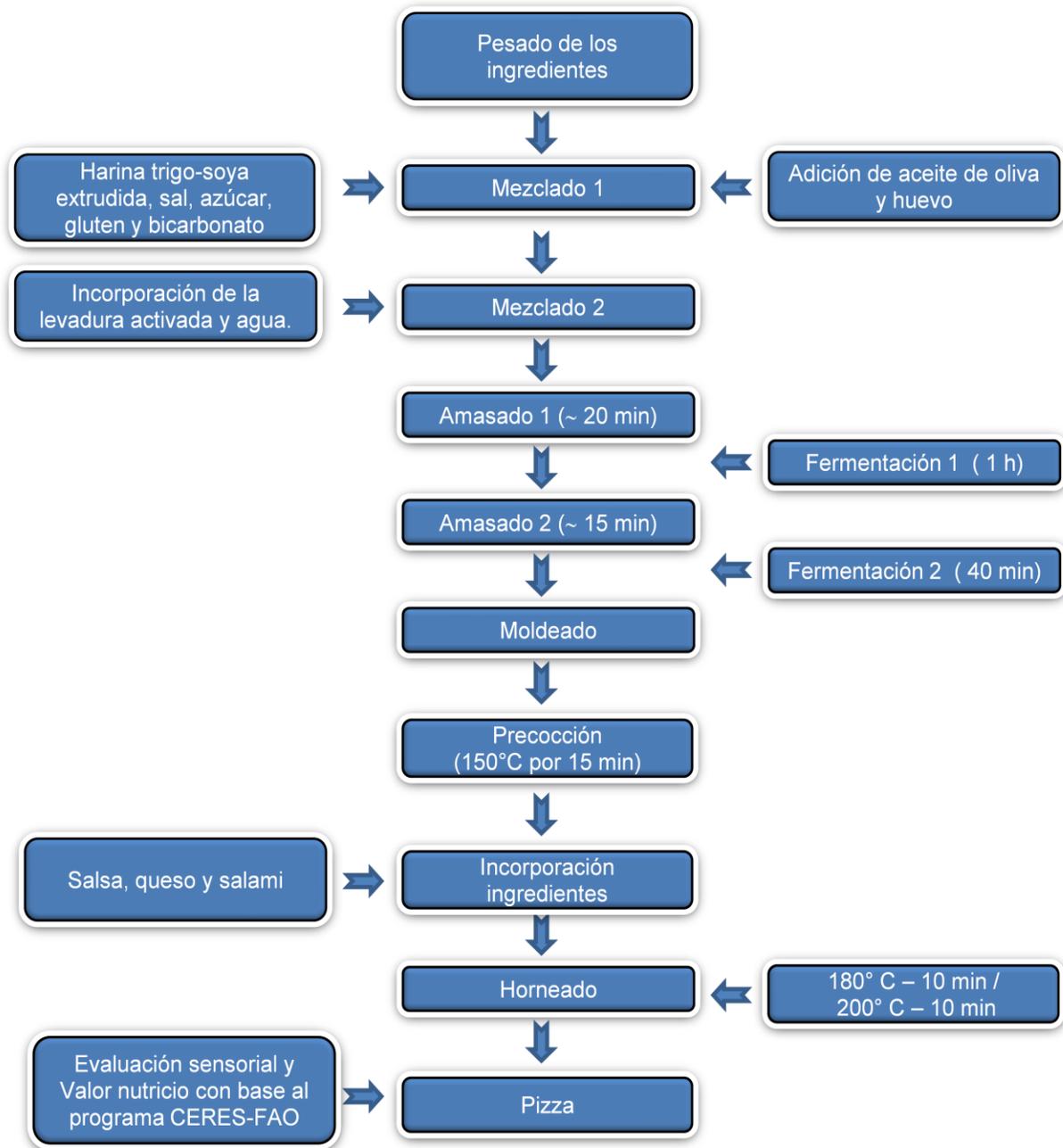


Figura 51. Proceso de elaboración de las pizzas con la mezcla trigo-soya.

✓ *Evaluación sensorial*

En la Figura 52, se muestra el gráfico de frecuencias correspondiente a la pizza de la mezcla trigo-soya. La mayor calificación fue de 4.9, la cual está en la zona de aceptación y es equivalente a me gusta ligeramente (5). La intención de compra fue del 78.8 %, lo que representa una oportunidad en el mercado para este producto.

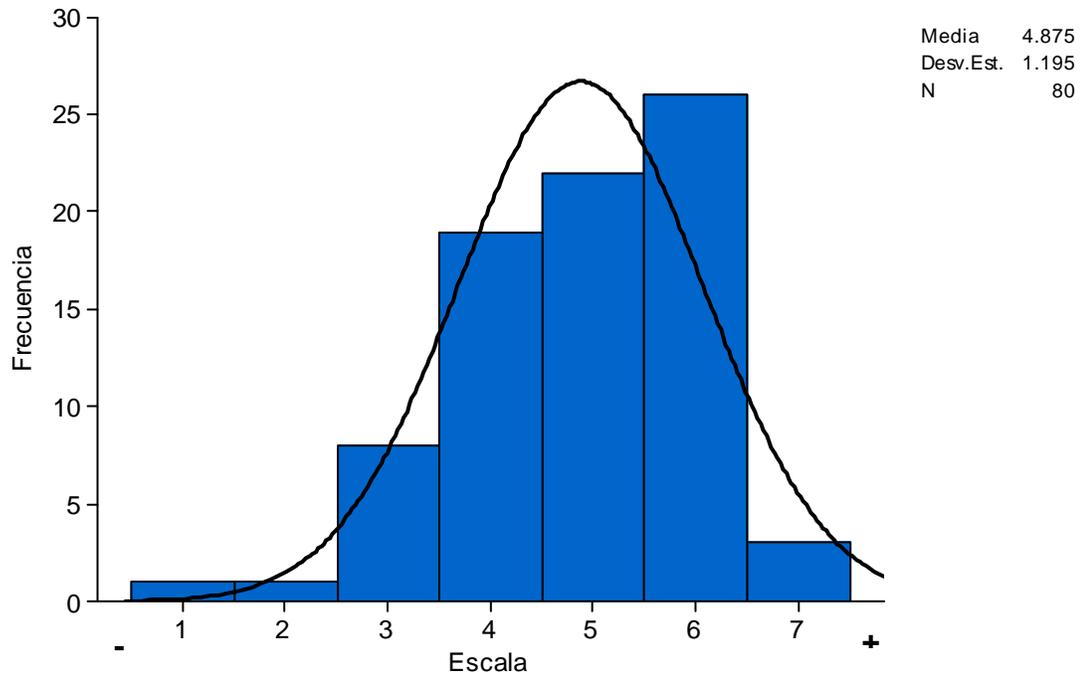


Figura 52. Frecuencias de aceptación de la pizza de la mezcla trigo-soya.

✓ *Beneficio a la salud del producto*

Considerando una porción de 1 pizza individual (~200 g), su composición nutricional y una ingesta diaria recomendada de 2000 kcal, para las personas de la tercera edad de 70 kg, se tiene un aporte del 22.10 % de la energía (442 kcal), 43.93 % de las proteínas (24.60 g), 24.73 % de carbohidratos (40.80 g), 21.20 % de grasas (21.20 g), 21.67 % de calcio (260 mg), 69.14 % de fósforo (484 mg), 71.50 % de hierro (5.72 g), 38.33 % de sodio (460 mg) y el 19.11 % de zinc (2.58 mg).

4.5.3.4 Mezcla trigo-garbanzo extrudida

En el Cuadro 72, se presenta la formulación empleada. En la Figura 53, se muestra el diagrama de proceso para la elaboración de la pizza a base de la mezcla trigo-garbanzo.

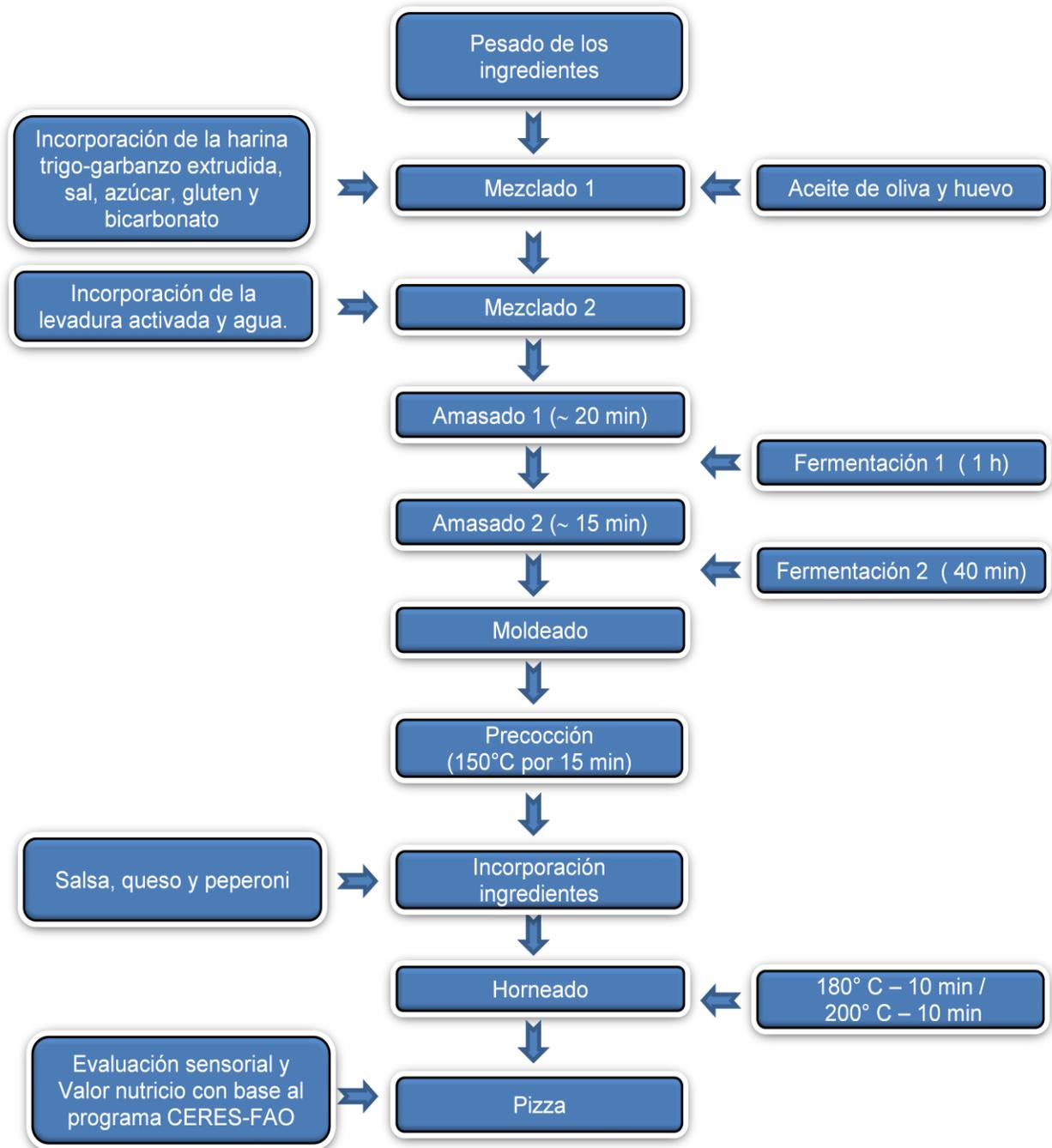


Figura 53. Proceso de elaboración de las pizzas con la mezcla trigo-garbanzo.

Cuadro 72. Formulación empleada en la elaboración de la base para pizza y su complemento a partir de la mezcla de trigo-garbanzo.

Ingrediente	Cantidad (%)
Harina extrudida	30.4
Agua	16.7
Sal	0.5
Azúcar	0.6
Levadura	0.9
Aceite de oliva	3.0
Huevo	7.0
Ajo en polvo	0.3
Gluten	0.9
Bicarbonato	0.2
Salsa de tomate	15.2
Queso mozzarella	15.2
Queso mezcla	3.4
Salami	5.7

✓ *Evaluación sensorial*

En la Figura 54, se muestra el gráfico de frecuencias correspondiente a la pizza de la mezcla trigo-garbanzo. La calificación promedio fue de 5, la cual está en la zona de aceptación y es equivalente a me gusta ligeramente. La intención de compra fue del 78.8 %, lo que representa una oportunidad en el mercado para este producto.

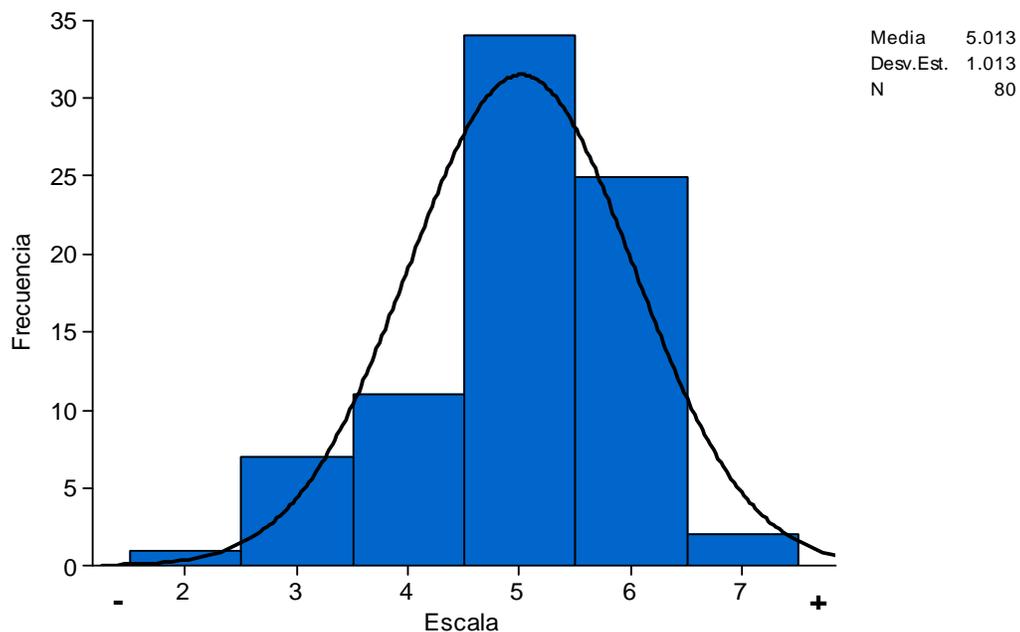


Figura 54. Frecuencias de aceptación de la pizza de la mezcla trigo-garbanzo.

✓ *Beneficio a la salud del producto*

Considerando una porción de 1 pizza individual (~200 g), su composición nutricional y una ingesta diaria recomendada de 2000 kcal, para las personas de la tercera edad de 70 kg, se tiene un aporte del 18.10 % de la energía (362 kcal), 33.57 % de las proteínas (18.80 g), 20.24 % de carbohidratos (33.40 g), 18 % de grasas (18 g), 19.33 % de calcio (232 mg), 50.57 % de fósforo (354 mg), 39 % de hierro (3.12 g), 38.67 % de sodio (464 mg) y el 15.41 % de zinc (2.08 mg).

En el Cuadro 73, se presenta la composición de aminoácidos indispensables de las pizzas elaboradas, mientras que en el Cuadro 74, se presenta el valor nutritivo de los mismos productos.

Cuadro 73. Composición en aminoácidos indispensables de las pizzas elaboradas a base de mezcla trigo-leguminosa extrudida (en 100 g de producto).

Aminoácidos	Unidad	Trigo-Garbanzo	Trigo-Lenteja	Trigo-Frijol	Trigo-Soya
Histidina	mg	299.00	265.34	328.91	382.06
Isoleucina	mg	452.15	384.07	495.36	602.58
Leucina	mg	749.42	699.88	878.41	1053.57
Lisina	mg	755.75	648.96	661.49	718.35
Metionina	mg	223.60	187.84	250.49	268.04
Cisteína	mg	125.22	106.82	125.79	124.87
Fenilalanina	mg	482.05	429.96	513.55	641.77
Tirosina	mg	422.55	365.08	438.82	416.47
Treonina	mg	374.23	324.63	428.43	501.23
Triptófano	mg	66.10	58.03	87.64	113.86
Valina	mg	549.63	484.05	634.58	549.63

Fuente: Obtenido con el programa CERES+ versión 1.1 (FAO, 2003).

En resumen, los 16 productos elaborados a base de tres mezclas cereal-leguminosas, presentaron buena aceptación por parte de los evaluadores, ya que calificaron en promedio desde me gusta ligeramente hasta me gusta mucho. Además los porcentajes de intención de compra fueron superiores al 75 %, con lo cual podrían ser productos que tendrían buen futuro en el mercado. Los productos elaborados brindan un aporte más balanceado de los nutrimentos que requieren las personas de la tercera edad, tanto de macro como de micronutrientes.

Cuadro 74. Valor nutritivo de las pizzas elaboradas a base de mezcla trigo-leguminosa extrudida (en 100 g de producto).

Parámetro	Unidad	Trigo- Garbanzo	Trigo- Lenteja	Trigo- Frijol	Trigo- soya
Energía	kcal	181.00	156.00	194.00	221.00
Proteína total	g	9.40	8.20	10.20	12.30
Proteína animal	g	6.20	4.60	7.00	6.20
Proteína vegetal	g	3.20	3.50	3.20	6.10
Grasa total	g	9.00	6.90	9.90	10.60
Grasa animal	g	5.50	3.90	6.90	5.40
Grasa vegetal	g	3.60	3.00	3.10	5.30
Ác. Grasos saturados	g	3.10	2.30	3.50	3.30
Ác. Grasos poliinsaturados	g	0.60	0.50	0.80	1.40
Ac. Esenciales	g	0.60	0.50	0.70	0.60
Colesterol	mg	55.00	50.00	61.00	57.00
Carbohidratos	g	16.70	16.90	17.20	20.40
Polisacáridos	g	13.80	13.70	14.50	15.10
Mono y disacáridos	g	2.40	2.70	2.20	2.30
Azúcar	g	0.70	0.60	0.60	0.60
Fibra	g	0.60	0.60	0.70	1.50
Vitamina A	µg	87.00	83.00	108.00	86.00
Retinol	µg	59.00	55.00	84.00	59.00
Caroteno	µg	169.00	167.00	148.00	166.00
Vitamina E	mg	1.00	1.00	1.00	1.00
Tocoferol	mg	0.90	0.80	0.90	1.00
Tiamina	mg	0.23	0.15	0.22	0.28
Niacina	mg	1.23	1.48	1.46	1.61
Riboflavina	mg	0.13	0.12	0.12	0.14
Piridoxina	mg	0.11	0.13	0.14	0.16
Ácido fólico	µg	18.00	16.00	22.00	48.00
Cobalamina	µg	0.57	0.14	0.42	0.57
Vitamina C	mg	5.10	9.10	4.20	5.50
Calcio	mg	116.00	106.00	110.00	130.00
Fósforo	mg	177.00	172.00	197.00	242.00
Hierro	mg	1.56	1.59	2.06	2.86
Sodio	mg	2.32	233.00	215.00	230.00
Potasio	mg	237.00	253.00	242.00	380.00
Cobre	mg	0.14	0.17	0.14	0.04
Zinc	mg	1.04	0.94	1.22	1.29

Fuente: Obtenido con el programa CERES+ versión 1.1 (FAO, 2003).

V. CONCLUSIONES

Con base en el contenido de proteínas de las harinas de cereales y leguminosas, se estableció la proporción de las mezclas cereal-leguminosa que ofreciera mayor cantidad y calidad de proteína.

Se establecieron las condiciones de proceso para la obtención de harinas extrudidas en cuanto a humedad de la materia prima, temperatura de proceso, velocidad rotacional, relación de compresión del tornillo y diámetro del dado de salida.

Se determinaron las variables de proceso que permitieron obtener una digestibilidad in vitro mayor en las harinas extrudidas, mejorando así la posibilidad de absorción de aminoácidos.

El valor del contenido de humedad de las mezclas, durante la extrusión, no tuvo un efecto estadísticamente significativo ($p > 0.05$) en el valor de la digestibilidad in vitro, mientras que la temperatura de proceso (110, 120 y 130 °C) aumentó la digestibilidad y en general tuvo diferencia estadística significativa ($p \leq 0.05$) entre las tres.

Se determinaron las variables de proceso que permitieron conocer su efecto sobre sus propiedades funcionales de absorción de agua y de aceite, mejorándose éstas en la mayoría de los casos.

En general, el proceso de extrusión sirvió para aumentar la absorción de aceite y absorción de agua en las mezclas cereal-leguminosas en relación a las muestras crudas. Siendo la temperatura el factor que más efecto tuvo sobre dichas propiedades funcionales.

Durante el proceso se observó que las mejores condiciones para la extrusión fueron: temperatura de 130 °C y humedades de 26 y 28 %, ya que se presentó un mejor flujo del producto extrudido.

Se estableció la formulación y tecnología de elaboración de galletas, tamales, panqués y bases para pizza a partir de la utilización de las mezclas de harinas cereal-leguminosa extrudidas; la evaluación sensorial de dichos productos fue satisfactoria.

Los productos con mayor aceptabilidad fueron: las galletas a base de harina maíz-frijol, los tamales a base de harina maíz-frijol y maíz-soya, los panqués a base de harina de avena-garbanzo y la pizza a base de harina trigo-frijol.

La tecnología de extrusión permitió obtener harinas extrudidas de mezclas cereal-leguminosa, a partir de las cuales se elaboraron productos que presentaron una mejor cantidad y calidad de proteínas y además aportan nutrimentos importantes en la alimentación de las personas de la tercera edad.

BIBLIOGRAFÍA

- ♣ Abd El-Hady E.A. y Habiba R.A. 2003. Effect of soaking and extrusion conditions on antinutrients and protein digestibility of legume seeds. *Lebensm.-Wiss. U.-Technol.* 36: 285–293.
- ♣ Abd El-Moniem GM, Honke J, and Bednarska A. 2000. Effect of frying various legumes under optimum conditions on amino acids, *in vitro* protein digestibility, phytate and oligosaccharides. *J. Sci Food Agric.* 80: 57-62.
- ♣ Almeida-Domínguez NG, Valencia ME and Higuera-Ciapara I. 1990. Formulation of Corn-Based Snacks with High Nutritive Value: Biological and Sensory Evaluation. *J. of Food Sci.* 55 (1): 228-231.
- ♣ Anderson RA, Conway HR, Pfeifer VF, Griffin EL Jr. 1969. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. *Cereal Sci. Today* 14: 4-7, 11-12.
- ♣ AOAC. 1991. Official Methods of Analysis. 16th ed. Arlington.
- ♣ Apro N.J., Rodríguez J., Orbea M.M. y Puntieri M.V. 2004. Desarrollo de harinas compuestas precocidas por extrusión y su aplicación en planes alimentarios. 5^a Jornada de Desarrollo e Innovación. 1-2 p.
- ♣ Araya H., Vera G. y Alviña M. 1991. Manual de alimentación del preescolar. Departamento de Nutrición. Facultad de Medicina. Universidad de Chile. Nº25. 130 pp.
- ♣ Aykroyd W. R. y Doughty J. 1964. Leguminosas en la Nutrición Humana. Colección FAO. Roma, Italia. p. 43.
- ♣ Bhatia CR y Rabson R. 1987. Relationship of grain yield and nutritional quality. In: Nutritional quality of cereal grains: Genetic and agronomic improvement. Eds: Olson R.A. y Frey K.J. Serie Agronomy No. 28. 511 p. USA.
- ♣ Brenes A. y Brenes J. 1993. Tratamiento tecnológico de los granos de leguminosas: Influencia sobre su valor nutritivo. IX Curso de especialización FEDNA. Barcelona, España.
- ♣ Bressani R., Braham J.E., Elías L.G., Cuevas R. and Molina M.R. 1978. Protein quality of a whole corn/soybean mixture processed by a single extrusion cooker. *Journal of Food Science.* 43: 1563-1565.

- ♣ Bressani R. 1983. Guidelines for the development of processed and packed weaning foods. *Food Nutr. Bull.* 5: 1-20.
- ♣ Bressani, R. 1989. The proteins of grain amaranth. *Foods Reviews International.* 51: 1338.
- ♣ Camire M.E. 2002. Extrusión y calidad nutritiva. En: Guy R. Extrusión de los alimentos. Zaragoza, España. Editorial ACRIBIA, S.A. p. 107-127.
- ♣ Carpenter, K.J. 1983. Supplementation of corn with amaranth seed. *Archivos Latinoamericanos de nutrición.*
- ♣ Cerezal-Mezquita P, Carrasco-Verdejo A, Pinto-Tapia K, Romero-Palacios N y Arcos-Zavala R. 2007. Suplemento alimenticio de alto contenido proteico para niños de 2-5 años. Desarrollo de la formulación y aceptabilidad. *Interciencia* 32: 857-864.
- ♣ Chao E., Simmons C. y Black R. 2000. Salvado de trigo con función biológica. En: Mazza G. Alimentos funcionales. Zaragoza, España. Editorial ACRIBIA, S.A. p. 39-71.
- ♣ Chavan JK, Salunkhe DK. 1987. Biochemistry and technology of chickpea (*Cicer arietinum* L) seeds. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 25: 107-158.
- ♣ Cheftel J.C., Cuq J.L y Lorient D. 1998. Proteínas Alimentarias. Zaragoza, España. Editorial ACRIBIA, S.A. 346 p.
- ♣ Chen J., Serafin F.L., Pandya R.N. y Daun H. 1991. Effects of extrusión conditions on sensory properties of corn meal extrudates. *Journal of Food Science* 56: 84-89.
- ♣ Chessari C.J. y Sellahema. 2002. Control efectivo del proceso. En: Guy R. Extrusión de los alimentos. Zaragoza, España. Editorial ACRIBIA, S.A. p. 83-106.
- ♣ National Academy of Sciences, National Research Council. 1980. Food and Nutrition Board. Recommended Dietary Allowances. 9 ed. Washington, USA. 285 p.
- ♣ Cummings J.H., Hill M.J., Jenkins D.J.A., Pearson J.R. y Wiggins H.S. 1976. Changes in fecal composition and colonic function due to cereal fiber. *Am. J. Clin. Nutr.* 29: 1468-1473.
- ♣ DeFelice S.L. 1995. The nutraceutical revolution: its impact on food industry. *Trends Food Sci. Technol.* 6: 59-61.
- ♣ Delhaye P.E., Vázquez H., Herrera I. y Garrido R. 1997. Snacks de maíz enriquecidos con fibra dietética y carotenoides de la harina de zanahoria (*Daucus carota*) procesados por extrusión. *Revista de la Facultad de Agronomía* 23: 235-248.

- ♣ De Mejía E., Guzmán-Maldonado S.H., Acosta-Gallegos J.A., Reynoso-Camacho R., Ramírez-Rodríguez E, González-Chavira, M.M., Castellanos J.Z. y Kelly J. 2003. Effect of cultivar and growing location on the trypsin inhibitors, tannins, and lectins of common vean (*Phaseolus vulgaris* L.) grown in the semiarid highlands of Mexico. J. Agric. Food Chem. 51: 5962-5966.
- ♣ Drago S., González R., González R.J., Chel-Guerrero L. y Valencia M. 2007. Evaluación de la disponibilidad de minerales en harinas de frijol y en mezclas de maíz/frijol extrudidas. Información Tecnológica. 18 (1): 41-46.
- ♣ Dueñas M., Hernández T. y Estrella I. 2007. Changes in the content of bioactive polyphenolic compounds of lentils by the action of exogenous enzymes. Effect on their antioxidant activity. Food Chem. 101: 90-97.
- ♣ Elizalde A. de D., Porrilla Y.P. y Chaparro D.C.C. 2009. Factores antinutricionales en semillas. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Vol. 7 (1): 45-54.
- ♣ Eltayeb A.R.S.M., Ali A.O., Abou-Arab A.A. and Abu-Salem F.M. 2011. Chemical composition and functional properties of flour and protein isolate extracted from Bambara groundnut (*Vigna subterranean*). African Journal of Food Science Vol. 5(2): 82 – 90.
- ♣ Erikson D.R. 1995. Practical Handbook of soybean processing and utilization. AOCS Press, Champaign, Il.
- ♣ Espitia R. E., Peña B. R.J., Villaseñor M. H.E., Huerta E. J. y Limón O. A. 2003. Calidad industrial de trigos harineros mexicanos para temporal. I Comparación de variedades y causas de la variación. Revista Fitotecnia Mexicana 26 (004): 249-256.
- ♣ Estévez A.M., Escobar B., Zacarías I. y Hurtado M.L. 2003. Evaluación nutricional y almacenamiento acelerado a 37 °C de mezclas de frejol y maíz fritos. Archivos Latinoamericanos de Nutrición 53 (1): 70-73.
- ♣ FAO. 1993. El maíz en la nutrición humana. Colección FAO: Alimentación y nutrición, Nº 25. Roma, Italia. p. 70.
- ♣ FAO. 2003. CERES+ versión 1.1 Sistema automatizado para la evaluación de encuestas de consumo de alimentos. Roma, Italia.
- ♣ Feillet P. 1984. Present knowledge on biochemical basis of pasta cooking quality. Consequence for wheat breeders. Sci. Alim. 4: 551-566.

- ♣ Fernández M.M.C. 2001. Efecto de la temperatura de extrusión sobre las propiedades funcionales y reológicas de harinas integrales de cereales y leguminosas. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional.
- ♣ Fennema O. R. 2000. Química de los alimentos. Segunda edición. Editorial Acribia, S. A. Zaragoza, España. 1258p.
- ♣ Fritz M., González R., Carrara C., Torres R. y Guerrero L.C. 2006. Selección de las condiciones de extrusión para una mezcla maíz-frijol: Aspectos sensoriales y operativos. Braz. J. Food Technol. III JIPCA, Janeiro. 3-7.
- ♣ Geil P.B. y Anderson J.W. 1994. Nutrition and health implications of dry beans: a review. Journal of the American College of Nutrition 13 (6): 549-558.
- ♣ Gómez M.H. y Aguilera J.M. 1983. Changes in the starch during extrusión-cooking of corn. J. Food Sci. 49: 40-60.
- ♣ González C. J., Arroyo T. I.L., Borodanenko A. y Carballo M.C.A. 2005. Efecto de la época de cosecha en las características físicas, químicas y funcionales del amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*). Memorias del VII Congreso Nacional de Ciencia de los Alimentos y III Foro de Ciencia y Tecnología de alimentos. 95-102 pp.
- ♣ Granito M., Torres A., Guerra M.B. 2003. Desarrollo y evaluación de una pasta a base de trigo, maíz, yuca y frijol. INTERCIENCIA 28: 372-379.
- ♣ Granito, M.; M. Guerra; A. Torres; J. Guinand. 2004. Efecto del procesamiento sobre las propiedades funcionales de *Vigna sinensis*. Interciencia 29: 521-526.
- ♣ Gutiérrez D.R., Cárdenas V.O.G., Alarcón V.C., Garzón T.J.A., Milán C.J. Armienta A.E. y Reyes M.C. 2008. Alimentos para niños preparado con harinas de maíz de calidad proteínica y garbanzo extruidos. INTERCIENCIA 33 (12): 868-874.
- ♣ Guzmán-Maldonado S.H., Acosta-Gallegos J. y Paredes López O. 2000. Protein characteristics and mineral contents of a novel collection of wild and weedy common vean (*Phaseolus vulgaris* L.). J. Sci. Food and agricultura 80: 1874-1881.
- ♣ Guzmán-Maldonado H., Castellanos-Ramos J.Z. y González de Mejía E. 1996. Relationship between theoretical and experimentally detected tannins of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). Food Chemistry 55 (4) : 333-335.
- ♣ Guzman J. G., Murphy P. A. and Johnson L. A. 1989. Properties of Soybean-Corn Mixtures Processed by Low-Cost Extrusion. J. Food Sci. 54 (6): 1590-1593.

- ♣ Harper JM. 1981. Extrusion of foods. Vol. II. Cap. 11 y 13, p. 41-60 y 89-112. CRC Press, Inc., Boca Raton, Florida.
- ♣ Harper JM. 1986. Processing characteristics of food extruders. En: Food engineering and process applications Vol. 2 Unit operations. Eds. Le Maguer, M. y Jelen, P. 101-114 pp. Ed. Elsevier applied science Publishers England.
- ♣ Hurtado M., Escobar B. y Estévez, A.M. 2001. Mezclas legumbre/cereal por fritura profunda de maíz amarillo y de tres cultivares de frejol para consumo "snacks". Archivos Latinoamericanos de Nutrición 5: 303-308.
- ♣ Hsu H.W., Vavak D.L., Satterlee L.D. y Miller G.A. 1977. A multienzyme technique for estimating protein digestibility. Journal of Food Science. 42 (5): 1269-1273.
- ♣ Ibáñez, F.; Barcina, Y. 2001. Análisis sensorial de alimentos. Métodos y aplicaciones. Barcelona, España. Ed. Springer.
- ♣ INCAP (Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá). 2002. La galleta escolar nutricionalmente mejorada. Notas Técnicas PP/NT/005. Guatemala.
- ♣ Instituto de Investigaciones para la Industria Alimentaria. 2007. Software Formulador versión 3.0. Departamento de Matemática Aplicada. Cuba.
- ♣ Jacinto H. C. y Campos E. A. 1993. Efecto de la cocción sobre algunas características nutricionales del frijol. Agronomía Mesoamericana. 4: 42-47.
- ♣ Jin Z., Hsieh F. y Huff H.E. 1994. Extrusion cooking of corn meal with soy fiber, salt, and sugar. Cereal Chem. 71 (3): 227-234.
- ♣ Kaur M. and Singh N. 2005. Studies on functional, thermal and pasting properties of flours from different chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. Food Chemistry, (91): 403-411.
- ♣ Killeit U. 1994. Vitamin retention in extrusion cooking. Food chem. 49 (2): 149-155.
- ♣ Kinsella J.E. 1979. Functional properties of soy proteins. J. Am. Oil Chemists' Soc. 56: 242-258.
- ♣ Lai L.S. y Kokini J.L. 1991. Physicochemical changes and rheological properties of starch during extrusion (a review). Biotechnol. Progress. 7: 251-266.
- ♣ Li Y., Jiang B., Zhang T., Mu W. y Liu J. 2008. Antioxidant and free radical-scavenging activities of chickpea protein hydrolysed (CPH). Food Chem. 106: 444-450.

- ♣ Linko P., Colonna P. y Mercier C. 1981. High-temperature, short-time extrusión cooking. Cap. V. En: American Association of Cereal and Technology. Vol IV. Eds. Y. Pomeranz. P. 145-235. Ed: American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN.
- ♣ Lozano-Aguilar O., Solórzano-Vega E., Bernal-Lugo I., Rebolledo-Robles H. y Jacinto-Hernández C. 2008. "Pinole" de alto valor nutricional obtenido a partir de cereales y leguminosas. *Ra Ximhai* 4 (2): 283-294 pp.
- ♣ Lutz R.M., Morales D.D., Sepúlveda B.S. y Alviña W.M. 2008. Evaluación sensorial de preparaciones elaboradas con nuevos alimentos funcionales destinados al adulto mayor. *Rev. Chil. Nutr.* 35 (2): 131-137.
- ♣ McConell AA, Eastwood MA y Mitchel W.D. 1974. Physical characteristics of vegetables foodstuffs that could influence bowel function. *J. Sci. Food Agric.* 25 (7): 1457-1464.
- ♣ Meng X., Threinen D., Hansen M. y Driedger D. 2009. Effects of extrusión conditions on system parameters and physical properties of a chickpea flour-based snack. *Food Research International*. Article in Press.
- ♣ Mercier C. 1993. Nutritional appraisal of extruded foods. *Int. J. Food Sci. Nutr.* 44: 545-553.
- ♣ Milán-Carrillo J., Reyes-Moreno C., Camacho-Hernández I.L., Rouzaud-Sandez O. 2002. Optimization of extrusion process to transform hardened chickpeas (*Cicer arietinum* L) into a useful product. *J. Sci. Food Agric.* 82: 1718-1728.
- ♣ Minitab Inc. 2007. Software Minitab versión 15.1.20.0. Estados Unidos.
- ♣ Montoya-Rodríguez A., Reyes-Moreno C., Milan-Noris E., Gutiérrez-Dorado R., Mora-Rochin S. y Milán-Carrillo J. 2010. Bebida de alto valor nutricional elaborada a base maíz (*Zea mays* L.) de calidad proteína extrudido y harina de garbanzo (*Cicer arietinum* L.) tostado. Memorias del VII Congreso del Noroeste y III Nacional de Ciencias Alimentarias y biotecnología. Universidad de Sonora, Hermosillo, Sonora. 522-542 pp.
- ♣ Morales L. J., Cassís N. M. L. y Cecin S. P. 2000. Obtención de un extracto de garbanzo (*Cicer arietinum* L.) fermentado y su uso como extensor lácteo. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición.* 50 (2):

- ♣ Muñoz C. M. 2010. Composición de Alimentos. Segunda Edición. Editorial McGraw Hill. México, D.F. 365 p.
- ♣ Nergiz C. y Gökgöz E. 2007. Effects of traditional cooking methods on some antinutrients and in vitro protein digestibility of dry bean varieties (*Phaseolus vulgaris* L.) grown in Turkey. International Journal of Food Science and Technology. 42: 868-873.
- ♣ Nelson A.I., Wijeratne W.B., Yeh S.W., Wei T.M. y Wei L.S. 1987. Dry extrusión as an aid to mechanical expelling of oil from soybeans. J. Am. Oil Chem. Soc. 64 (9): 1341-1347.
- ♣ Nestle. 2009. La nutrición por edades. 3 p.
- ♣ Ortega D. A., Vinay J. C. y López E. 1996. Caracterización de la calidad tecnológica y nutricional de variedades mejoradas y criollas de frijol negro tropical (*Phaseolus vulgaris* L.). Agronomía Mesoamericana. 7 (1): 20-25.
- ♣ Ortega L. 1983. Plantas oleaginosas-soya: Usos y subproductos. Chiquimula Guatemala: Cunori, Universidad de San Carlos Guatemala.
- ♣ Pacheco-Delahaye E., Techeira N. y García A.D. 2008. Elaboración y evaluación de polvos para bebidas instantáneas a base de harina extrudida de ñame (*Dioscorea alata*). Rev. Chil. Nutr. 35 (4): 452-459 pp.
- ♣ Pérez-Navarrete C., Cruz-Estrada R.H., Chel-Guerrero L. y Betancur-Ancona D. 2006. Caracterización física de extrudidos preparados con mezclas de harinas de maíz QPM (*Zea mays* L.) y frijol lima (*Phaseolus lunatus* L.). Revista Mexicana de Ingeniería Química 5: 145-155.
- ♣ Polit P. 1993. Efecto del procesamiento sobre almidones modificados a nivel molecular. Propiedades físico-químicas y funcionales. Simposio en Carbohidratos. Quito, Ecuador. 83-91 pp.
- ♣ Praderes G., García A. y Pacheco E. 2009. Caracterización físico-química y propiedades funcionales de harina de quinchoncho (*Cajanus cajan*) obtenida por secado en doble tambor rotatorio. Rev. Fac. Agron. 35(2): 79-84.
- ♣ Primo Y.E. 1997. Química de los Alimentos. Primera Edición. Editorial SINTESIS. Madrid, España. 464 p.

- ♣ Puntieri M.V. y Apro N.J. 2004. Industrialización, valor nutritivo y usos de la harina integral de amaranto. 5ª Jornada de Desarrollo e Innovación. 1-2 p.
- ♣ Reyes M.C., Milán C.J., Rouzaud S.O., Garzón T.J.A. y Mora E.R. 2002. Descascarillado/Suavización/Extrusión (DSE): Alternativa tecnológica para mejorar la calidad nutricional del garbanzo (*Cicer arietinum* L.). *Agrociencia* 36 (002): 181-189.
- ♣ Reyes M.J., Palomo P. y Bressani R. 2004. Desarrollo de un producto de panificación apto para el adulto mayor a base de harina de trigo y harina de arroz. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 54 (3): 314-321.
- ♣ Riaz M.N. 2002. Selección del extrusor correcto. En: Guy R. *Extrusión de los alimentos*. Zaragoza, España. Editorial ACRIBIA, S.A. p. 29-50.
- ♣ Roderuck C.E., Fox H. 1987. Nutritional value of cereal grains. En: *Nutritional quality of cereal grains: Genetic and agronomic improvement*. Eds: Olson R.A. y Frey K.J. 511 p. Serie Agronomy No. 28. USA.
- ♣ Rodríguez P., San Martín M.E. y González de la Cruz G. 2001. Calorimetría diferencial de barrido y rayos-x del almidón obtenido por nixtamalización fraccionada. *Superficies y Vacío* 13: 61-65.
- ♣ Rokey G. 1995. Tecnología de la extrusión e implicaciones nutricionales. XI Curso de especialización FEDNA. Barcelona, España.
- ♣ Romo S., Rosero A., Forero C., Ceron E.R. y Pérez D.A. 2007. Potencial nutricional de harinas de quinua (*Chenopodium quinoa* w) variedad piartal en los andes colombianos segunda parte. *Revista de Ciencias Agropecuarias* 5(2): 44-53.
- ♣ Sadiq B.M. and Batool R. 2010. Nutritional and Functional Properties of Some Promising Legumes Protein Isolates. *Pakistan Journal of Nutrition* 9 (4): 373-379.
- ♣ Salinas M. Y., Saavedra A. S. Soria R. J. y Espinosa T. E. 2008. Características fisicoquímicas y contenido de carotenoides en maíces (*Zea mays* L.) amarillos en el estado de México. *Agricultura Técnica en México*. 34 (3): 357-364.
- ♣ Sangronis. E.; C. Machado; R. Cava. 2004. Propiedades funcionales de las harinas de leguminosas (*Phaseolus vulgaris* y *Cajan cajan*) germinadas. *Interciencia* 29: 80-85.
- ♣ SAS Institute. SAS/STAT Users guide. Versión 9.0. SAS Inst., Cary, NC. USA. 1998. p. 595.

- ♣ Serrano J. y Goñi I. 2004. Papel del frijol negro *Phaseolus vulgaris* en el estado nutricional de la población guatemalteca. Archivos Latinoamericanos de Nutrición 54 (1): 36-44.
- ♣ Siddiq M., Ravi R., Harte J.B. and Dolan K.D. 2010. Physical and functional characteristics of select dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flours. LWT-Food Sci Technol. 43: 232-237.
- ♣ Silva-Cristobal L., Osorio-Díaz P. y Bello-Pérez A. 2007. Digestibilidad del Almidón y Fracción Indigerible. Memorias del IX CONGRESO DE CIENCIA DE LOS ALIMENTOS y V FORO DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS. 169-174.
- ♣ Soltero D. L., Andrade A. E., Grageda C. O. A. y Pérez V. J. J. 2008. San Antonio 05, variedad de garbanzo forrajero para la región Ciénega de Chapala, México. Agricultura Técnica en México. 34 (2): 263-265.
- ♣ Stephen A.M. y Cummings J.H. 1980. Mechanism of action of dietary fibre in the human colon. Nature 284: 283-284.
- ♣ Suárez L. M. M., Kizlansky A. y López L.B. 2006. Evaluación de la calidad de las proteínas en los alimentos calculando el score de aminoácidos corregido por digestibilidad. Nutrición Hospitalaria. 21 (1): 47-51.
- ♣ Suzuki H., Chung B.S., Isobe S., Hayawaka S. y Wada S. 1988. Changes in ω (omega)-3 polyunsaturated fatty acids in the chum salmon muscle during spawning migration and extrusión cooking. J. Food Sci. 53 (6): 1659-1661.
- ♣ Thompson J.L., Manore M.M. y Vaughan L.A. 2008. Nutrición. PEARSON EDUCATION, S.A. Madrid, España. 1, 108 p.
- ♣ Torres A. y Guerra M. 2003. Sustitución parcial de harina de maíz precocida con harina de quinchoncho (*Cajanus cajan*) para la elaboración de arepas. *Interciencia*: 28 (11): 660-664.
- ♣ Valls P.A. 1993. El proceso de extrusión en cereales y habas de soja: I. Efecto de la extrusión sobre la utilización de nutrientes. IX Curso de Especialización FEDNA. Barcelona, España.
- ♣ Van der Poel A.F.B. 1990. Effect of processing on antinutritional factors and protein nutritional value of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). A review. Anim. Feed Sci. Tech. 29: 179-208.

- ♣ Velázquez H.J.L. 2006. Establecimiento de las condiciones del proceso de extrusión para la elaboración de botanas a partir de maíz. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional.
- ♣ Wang N., Hatcher D.W., Toews R. y Gawalko E.J. 2009. Influence of cooking and dehulling on nutritional composition of several varieties of lentils (*Lens culinaris*). LWT-Food Sci. Technol. 42: 842-848.
- ♣ Wang S., Casulli J. y Bouvier J.M. 1993. Effect of dough ingredients on apparent viscosity and properties of extrudates in twin-screw extrusión cooking. International J. Food Sci. Technol. 28 (5): 465-479.
- ♣ Wehrhahne L. 2005. Evaluación comparativa de cebadas, avena y trigo. 2p.
- ♣ Whitehead S., Summerfield R., Muehlbauer F., Ellis R. y Wheeler T. 1998. Biomass production, partitioning and structure in lentil. Grain legume, 22: 8-9.
- ♣ Witting P.E., Serrano L., Bungler A., Soto D., López L., Hernández N. y Ruales J. 2002. Optimización de una formulación de espaguetis enriquecidos con fibra dietética y micronutrientes para el adulto mayor. Archivos Latinoamericanos de Nutrición. 52 (1): 91-100 pp.
- ♣ Zapotoczny P., Markowski M., Majewska K., Ratajski A. and Konopko H. 2006. Effect of temperature on the physical, functional, and mechanical characteristics of hot-air-puffed amaranth seeds. J.Food Eng. 76: 469-476.