



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISCOQUÍMICAS, NUTRICIONALES Y
SENSORIALES DE UNA MEZCLA DE HARINA DE MAÍZ Y HARINA DE SOYA
ENRIQUECIDA CON AFRECHO CERVECERO PARA EL DISEÑO DEL
PROCESO DE ELABORACIÓN DE BARRAS ENERGÉTICAS**

María Reneé Ramírez Morales

Asesorado por el Dr. Ricardo Bressani, Inga. Hilda Palma
e Inga. Claudia Ronquillo

Guatemala, octubre de 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS, NUTRICIONALES Y
SENSORIALES DE UNA MEZCLA DE HARINA DE MAÍZ Y HARINA DE SOYA
ENRIQUECIDA CON AFRECHO CERVECERO PARA EL DISEÑO DEL
PROCESO DE ELABORACIÓN DE BARRAS ENERGÉTICAS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MARÍA RENEE RAMÍREZ MORALES

ASESORADO POR EL DR. RICARDO BRESSANI, INGA. HILDA PALMA E
INGA. CLAUDIA RONQUILLO

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2013

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. César Alfonso García Guerra
EXAMINADOR	Ing. Federico Guillermo Salazar Rodríguez
EXAMINADORA	Inga. Hilda Piedad Palma Ramos
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS, NUTRICIONALES Y
SENSORIALES DE UNA MEZCLA DE HARINA DE MAÍZ Y HARINA DE SOYA
ENRIQUECIDA CON AFRECHO CERVECERO PARA EL DISEÑO DEL
PROCESO DE ELABORACIÓN DE BARRAS ENERGÉTICAS**

Tema que me fuera asignado por el Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Universidad del Valle de Guatemala, con fecha mayo de 2012.



María René Ramírez Morales

Guatemala, 29 de Agosto de 2013

Ingeniero
Victor Manuel Monzón Valdez
Director de Escuela de Ingeniería Química
Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Por este medio le envío mi dictamen de aprobación del informe final de Trabajo de Graduación titulado: **“EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUIMICAS, NUTRICIONALES Y SENSORIALES DE UNA MEZCLA DE HARINA DE MAÍZ Y HARINA DE SOYA ENRIQUECIDA CON AFRECHO CERVECERO PARA EL DISEÑO DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE BARRAS ENERGÉTICAS”** realizado por **MARÍA RENEÉ RAMÍREZ MORALES**, estudiante de la carrera de ingeniería Química quien se identifica con carnet No. **2008-15358** y es asesorado por mi persona.

Sin otro particular y agradeciendo de antemano su fina atención a la presente, me suscribo de usted.

Atentamente,



Inga. Hilda Palma de Martini

Colegiada 453

Asesora

INGA. HILDA PALMA DE MARTINI
COLEGIADO No. 453



Guatemala, 19 de septiembre de 2013
 Ref. EI.Q.TG-IF.056.2013

Ingeniero
Víctor Manuel Monzón Valdez
 DIRECTOR
 Escuela Ingeniería Química
 Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Monzón:

Como consta en el Acta TG-078-2012-IF le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN

Solicitado por la estudiante universitaria: **María Reneé Ramírez Morales.**

Identificada con número de carné: **2008-15358.**

Previo a optar al título de **INGENIERA QUÍMICA.**

Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS, NUTRICIONALES Y SENSORIALES DE UNA MEZCLA DE HARINA DE MAÍZ Y HARINA DE SOYA ENRIQUECIDA CON AFRECHO CERVECERO PARA EL DISEÑO DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE BARRAS ENERGÉTICAS

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por la Ingeniera Química: **Hilda Piedad Palma de Martíni.**

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Licda. Ingrid Lorena Benítez Pacheco
 COORDINADORA DE TERNA
 Tribunal de Revisión
 Trabajo de Graduación

C.c.: archivo



ACAAI



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA

Ref.EIQ.TG.290.2013

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del Trabajo de Graduación de la estudiante, **MARÍA RENEÉ RAMÍREZ MORALES** titulado: **"EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS, NUTRICIONALES Y SENSORIALES DE UNA MEZCLA DE HARINA DE MAÍZ Y HARINA DE SOYA ENRIQUECIDA CON AFRECHO CERVECERO PARA EL DISEÑO DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE BARRAS ENERGÉTICAS"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

Ing. Víctor Manuel Monzón Valdez
DIRECTOR
Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, octubre 2013

Cc: Archivo
VMMV/ale



DTG. 716.2013

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al Trabajo de Graduación titulado: **EVALUACIÓN DE LAS PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS, NUTRICIONALES Y SENSORIALES DE UNA MEZCLA DE HARINA DE MAÍZ Y HARINA DE SOYA ENRIQUECIDA CON AFRECHO CERVECERO PARA EL DISEÑO DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE BARRAS ENERGÉTICAS**, presentado por la estudiante universitaria: **María Reneé Ramírez Morales**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
Decano



Guatemala, 15 de octubre de 2013

/gdech

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser el guía en mi camino y por bendecirme, iluminarme y siempre apoyarme.
- Mi madre** Vilma Morales, eres mi mayor inspiración, mi ejemplo a seguir y el motivo por el que hoy estoy donde estoy. Gracias por enseñarme a salir adelante a pesar de los fracasos; soy el fruto de todo tu esfuerzo y sacrificio.
- Mi padre** Alfredo Ramírez, por siempre apoyarme, por tus consejos y porque siempre has sabido darme un beso y un abrazo en el momento indicado que me anima a seguir adelante.
- Mis hermanas** Lesly Alejandra y María Fernanda Ramírez Morales, porque a pesar de nuestras diferencias y nuestros problemas, siempre han estado para apoyarme. Gracias por cada sonrisa, pelea, abrazo y muestra de cariño.
- Eduardo Ramos** Por tu apoyo incondicional y cariño. Por inspirarme a ser una mejor persona y siempre a dar lo mejor de mí en cada cosa que hago. Por acompañarme a lo largo de estos 5 años y crecer junto a mí.

Mi tía

Carolina Ramírez, por siempre hacerme creer que soy capaz de lograr todo lo que me propongo y de cumplir mis sueños.

Mis padrinos

Por ser parte importante en mi formación académica y por su apoyo incondicional.

Mis amigos

Gabriela Jo, Paula Pisquiy, Manuel Cabrera, Pamela Rodas, Oscar Cordova, Andrés Batten, Gabriel Cifuentes, Otto Sic, Max Pérez, Edwin Cortez, Eddy Viana, María José Tejeda, Ana Lucía Quezada, Josseline Muñoz, y Wendy Sabrina; por apoyarme durante el desarrollo de mi carrera y porque a su lado he compartido momentos de alegrías, tristezas, estrés y emoción, cada uno ocupa un lugar especial en mi corazón. Un especial agradecimiento a Luis Ernesto Ruiz Funes, por ser una gran persona y brindarme siempre su apoyo, sabiduría, ejemplo y animarme a dar lo mejor de mí en el desarrollo de este proyecto.

AGRADECIMIENTOS A:

La Universidad de San Carlos de Guatemala	Por ser parte de mi formación académica y darme la oportunidad de ser parte de la Facultad de Ingeniería.
Mi madre	Vilma Morales, por su entrega, dedicación y por exigirme siempre dar lo mejor de mí. Por trabajar cada día por mi sustento y por su esfuerzo incansable por un mejor futuro para sus hijas y que nunca nos hiciera falta nada. Por ser una mujer trabajadora y que nunca se da por vencida, eres mi inspiración.
Mi padre	Alfredo Ramírez, por creer en mí y en lo que puedo hacer. Siempre has sabido escucharme, cuidarme, apoyarme, animarme a seguir adelante y darme los mejores consejos.
Cervecería Centroamericana, S. A.	Por creer, confiar e invertir en la educación de los jóvenes que creen y buscan desarrollar el país.
Inga. Claudia Ronquillo	Por su confianza y apoyo económico. Gracias por creer en mis ideas. Sin su colaboración este proyecto no hubiera sido posible.

Eduardo Ramos

Por ser una persona admirable, trabajadora, inteligente, de gran corazón y una fuente de inspiración para mí. Por siempre motivarme a seguir adelante.

Dr. Ricardo Bressani

Por creer en mí, en mis habilidades e ideas; porque con su ejemplo me ha inspirado a ser una mejor persona y buscar el bienestar de los demás y ha sembrado en mí el deseo de seguir estudiando y aprendiendo. Sin su sabiduría y apoyo este proyecto no hubiera sido posible.

CECTA

Centro de Estudio en Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Universidad del Valle de Guatemala, por recibirme en el laboratorio y darme la oportunidad de realizar este proyecto.

Sr. Carlos Arias

Por su colaboración y apoyo en el CECTA con enriquecimiento de mis conocimientos. Por ser una gran persona, con paciencia y dedicación en su trabajo.

INCAP

Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá, por darme la confianza y apoyo para trabajar en este proyecto.

Inga. Hilda Palma de Martini

Por su asesoría, apoyo, colaboración y gran conocimiento sobre el tema. Por marcar una diferencia como catedrática.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XV
OBJETIVOS/HIPÓTESIS.....	XVII
INTRODUCCIÓN	XXI
1. ANTECEDENTES	1
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Proceso de elaboración de cerveza en Guatemala	5
2.1.1. Materia prima.....	5
2.1.1.1. Malta	5
2.1.1.2. Grits de maíz	6
2.1.1.3. Levadura.....	7
2.1.1.4. Lúpulo	7
2.1.2. Molienda	8
2.1.3. Maceración y cocción de adjuntos.....	8
2.1.4. Filtración del mosto.....	8
2.1.4.1. Tolva de afrecho	9
2.1.5. Calentamiento del mosto	9
2.1.6. Cocimiento.....	9
2.1.7. Clarificación	9
2.1.7.1. Trub	10
2.1.8. Enfriamiento.....	10

2.1.9.	Fermentación y maduración	11
2.1.10.	Filtración.....	11
2.1.11.	Envasado	12
2.1.12.	Pasteurización.....	12
2.2.	Afrecho de cebada	15
2.2.1.	Nombre común.....	15
2.2.2.	Contenido nutricional.....	16
2.2.2.1.	Proteínas	17
2.2.2.2.	Grasas e hidratos de carbono	17
2.2.2.3.	Vitaminas.....	18
2.2.2.4.	Minerales.....	18
2.2.2.5.	Valor energético	19
2.2.2.6.	Fibra	20
	2.2.2.6.1. Componentes de la fibra dietética.....	21
	2.2.2.6.2. Requerimientos de fibra dietética diario	21
2.2.3.	Beneficios del consumo de afrecho.....	22
2.2.4.	Desventajas del consumo de afrecho	23
2.2.5.	Usos del afrecho	23
2.3.	Alimentos nutricionalmente mejorados con fibra y proteína	24
2.3.1.	Barras de cereal	25
2.3.1.1.	Ingredientes utilizados.....	25
2.3.1.2.	Composición nutricional	26
2.4.	Análisis nutricional (análisis proximal).....	27
2.4.1.	Sólidos totales y humedad en harinas, método de estufa de aire: AOAC 925.09.....	27
2.4.2.	Extracto soluble, total y digerible: método MEBAK.....	28

2.4.3.	Fibra dietética: método AOAC 985.29	28
2.4.4.	Fibra cruda: método AOAC 962.09.....	29
2.4.5.	Fibra neutro detergente	29
2.4.6.	Fibra ácido detergente	30
2.4.7.	Proteínas: método Kjeldahl: método AOAC 954.01	30
2.4.8.	Cenizas en harinas, método directo AOAC 923.03.....	31
2.4.9.	Grasa cruda: método AOAC 920.39	32
2.4.10.	Capacidad de Retención de Agua (CRA)	32
2.4.11.	Capacidad de Hinchamiento (CH)	33
2.4.12.	Índice de eficiencia proteica (PER), razón proteínica neta (NPR) y digestibilidad verdadera....	33
2.5.	Análisis sensorial	33
2.5.1.	Evaluación hedónica.....	34
2.5.2.	Diseño de la línea de producción y equipos a utilizar	34
2.5.2.1.	Recepción de la materia prima	35
2.5.2.2.	Almacenamiento de la materia prima: silos.....	35
2.5.2.3.	Análisis de laboratorio.....	35
2.5.2.4.	Secado de afrecho: secador de tamices transportadores	36
2.5.2.5.	Molienda: molino de martillo	36
2.5.2.6.	Tamizado: tamiz vibratorio.....	37
2.5.2.7.	Pesado.....	37
2.5.2.8.	Dosificación	37
2.5.2.9.	Batido.....	38
2.5.2.10.	Mezclado: mezcladora horizontal	38

	2.5.2.10.1.	Elaboración del relleno	38
	2.5.2.11.	Amasado: amasadora	38
	2.5.2.12.	Transportadores de banda	39
	2.5.2.13.	Compresión: prensas de rodillo.....	39
	2.5.2.14.	Secado u horneado	40
	2.5.2.15.	Refrigeración	40
	2.5.2.16.	Corte	41
	2.5.2.17.	Envasado o empaquetado.....	41
3.	DISEÑO METODOLÓGICO.....		43
3.1.	Variables		43
3.2.	Delimitación de campo de estudio		46
3.3.	Recursos humanos disponibles		47
3.4.	Recursos materiales disponibles (equipo, cristalería, reactivos).....		47
3.4.1.	Humedad: método MEBAK		47
3.4.2.	Extracto soluble, total y digerible: método MEBAK.....		48
3.4.3.	Fibra dietética: método AOAC 985.29		49
3.4.4.	Fibra cruda: método AOAC 962.09		50
3.4.5.	Fibra neutro detergente		51
3.4.6.	Fibra ácido detergente		53
3.4.7.	Proteínas: método de Kjeldah: AOAC 954.01		53
3.4.8.	Grasa cruda: método AOAC 920.39.....		54
3.4.9.	Cenizas en harinas: método AOAC 923.03.....		55
3.4.10.	Índice de eficiencia proteica (método AOAC 960.48) y digestibilidad verdadera.....		55

3.4.11.	Capacidad de retención del agua y capacidad de hinchamiento	56
3.5.	Técnica cuantitativa	56
3.5.1.	Diseño general.....	56
3.5.2.	Caracterización del afrecho de cebada	58
3.5.3.	Preparación de la materia prima para la elaboración de las barras energéticas	58
3.5.4.	Preparación de la mezcla enriquecida	58
3.5.5.	Análisis de las propiedades nutricionales, fisicoquímicas y biológicas de las mezclas	58
3.5.6.	Elaboración de barras energéticas	59
3.5.7.	Evaluación hedónica.....	59
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información	59
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información	64
3.7.1.	Humedad: método MEBAK.....	65
3.7.2.	Extracto soluble, total y digerible: método MEBAK	66
3.7.3.	Fibra dietética total	67
3.7.4.	Fibra cruda.....	70
3.7.5.	Fibra neutro detergente	71
3.7.6.	Fibra ácido detergente	72
3.7.7.	Proteínas: método de Kjeldah.....	73
3.7.8.	Grasa cruda	75
3.7.9.	Cenizas en harinas	75
3.7.10.	Carbohidratos	76
3.7.11.	Capacidad de retención de agua	76
3.7.12.	Capacidad de hinchamiento	77
3.7.13.	Potencial de Hidrógeno: método AOAC 981.12.....	77

3.7.14.	Análisis biológicos	78
3.7.14.1.	Índice de eficiencia proteica (PER): método AOAC 960.48 y razón proteínica neta.....	79
3.7.14.2.	Digestibilidad verdadera	80
3.8.	Análisis estadístico.....	81
3.8.1.	Grados de libertad y valor crítico	81
3.8.2.	Cálculos para tabla ANOVA	82
3.8.2.1.	Interpretación de ANOVA	84
4.	RESULTADOS.....	89
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	105
	CONCLUSIONES.....	111
	RECOMENDACIONES	113
	BIBLIOGRAFÍA.....	115
	APÉNDICE	111
	ANEXOS.....	122

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Granos de cebada para la elaboración de cerveza.....	6
2.	Grits de maíz para la elaboración de cerveza	6
3.	Planta de lúpulo para la elaboración de cerveza.....	7
4.	Diagrama del proceso de elaboración de cerveza	13
5.	Diagrama del proceso de elaboración de cerveza	14
6.	Harina de afrecho de cebada	15
7.	Afrecho de cebada	16
8.	Diagrama de flujo del proceso.....	57
9.	Índice de Eficiencia Proteica (PER) de las dietas en ratas.....	93
10.	Relación Proteínica Neta (NPR) de las dietas en ratas.....	94
11.	Digestibilidad aparente de las dietas en ratas a las dos semanas	95
12.	Digestibilidad aparente de las dietas en ratas a las cuatro semanas ...	96
13.	Evaluación descriptiva de las barras energéticas para la mezcla no. 1 con 0 por ciento de afrecho.....	98
14.	Evaluación descriptiva de las barras energéticas para la mezcla no. 2 con 3 por ciento de afrecho.....	99
15.	Evaluación descriptiva de las barras energéticas para la mezcla no. 3 con 6 por ciento de afrecho.....	100
16.	Evaluación descriptiva de las barras energéticas para la mezcla no. 4 con 9 por ciento de afrecho.....	101
17.	Evaluación descriptiva de las barras energéticas para la mezcla no. 5 con 15 por ciento de afrecho.....	102

18.	Diagrama de flujo del proceso para la elaboración de barras energéticas	103
19.	Requisitos académicos	119

TABLAS

I.	Composición química (por ciento masa seca)	17
II.	Macrominerales (por ciento masa seca).....	19
III.	Valor energético (megacalorías por kilogramo masa seca)	19
IV.	Contenido de fibra	21
V.	Requerimiento de fibra por edad y género	22
VI.	Composición nutrimental de las barras de cereal	26
VII.	Factores de conversión de nitrógeno a proteína.....	31
VIII.	Variables experimentales a medir.....	43
IX.	Datos nutricionales del afrecho de cebada	60
X.	Mezclas de harina de maíz, de soya y afrecho.....	61
XI.	Datos nutricionales de las mezclas enriquecidas	62
XII.	Dietas para análisis biológico	63
XIII.	Datos biológicos de las mezclas enriquecidas.....	63
XIV.	Datos fisicoquímicos de las mezclas enriquecidas	64
XV.	Análisis de varianza	82
XVI.	Análisis de varianza mezcla 1 y mezcla 2	84
XVII.	Análisis de varianza entre la mezcla 1 y mezcla 3.....	85
XVIII.	Análisis de varianza entre la mezcla 1 y mezcla 4.....	86
XIX.	Análisis de varianza entre la mezcla 1 y mezcla 5.....	86
XX.	Composición química y nutricional del afrecho cervecero	89
XXI.	Composición química de las harinas a utilizar en las mezclas	91
XXII.	Composición química y nutricional de las mezclas enriquecidas	92
XXIII.	Análisis fisicoquímicos de las mezclas enriquecidas	97

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
μ_1	Cantidad de nutrientes determinados por métodos químicos para la mezcla de harina de maíz y soya.
μ_2	Cantidad de nutrientes determinados por métodos químicos para la mezcla de harina de maíz y soya enriquecida con afrecho cervecero.
C	Contenido de cenizas en la muestra
E₁	Contenido de extracto de la prueba en blanco
P	Contenido de proteínas en la muestra
N	Contenido de nitrógeno en la muestra
W	Contenido total de agua del afrecho
S	Desviación muestral
E	Extracto en el filtrado
E_{AS}	Extracto lavable en afrecho seco
E_{LA}	Extracto lavable en sustancia seca de afrecho
E_{TSA}	Extracto total secado al aire
FAD	Fibra ácido detergente
FDT	Fibra dietética total
FND	Fibra neutro detergente
K	Factor de conversión de nitrógeno orgánico a proteínas
W₂	Humedad fina
W₁	Humedad gruesa
X	Media muestral

N_A	Normalidad del ácido clorhídrico titulante
K	Número de filas o tratamientos
n_c	Número de observaciones de cada tratamiento.
N	Número total de datos
A	Peso inicial de la muestra
B	Peso del recipiente que contiene la muestra
RI	Peso del residuo insoluble
RS	Peso del residuo soluble
D	Peso final de la muestra y el recipiente
T_c	Total de la columna de cada tratamiento.
T	Valor t <i>student</i>
V_A	Volumen del ácido clorhídrico titulante
F	Volumen de agua retenida
V_f	Volumen final de la muestra
V₀	Volumen inicial ocupado por la muestra

GLOSARIO

Afrecho	Alimento que constituye la parte externa del grano procedente de la molienda de los cereales cuya cáscara es desmenuzada en el proceso. Es un subproducto de la elaboración de la cerveza.
Alimento complementario	Cualquier alimento modificado o ingrediente alimenticio que pueda proveer un beneficio para la salud, más del que ordinariamente proporcionan los nutrimentos que contiene en su forma natural.
Almidón	Molécula natural formada por polisacáridos, de color blanco y aspecto granuloso, que se almacena como material de reserva en los tubérculos, raíces y semillas de ciertas plantas.
Capacidad de Retención de Agua (CRA)	Cantidad de agua retenida por una muestra sin ser sometida a ningún estrés y es una importante característica funcional relacionada con la fabricación y la calidad de los productos finales.
Celulosa	Polímero lineal de residuos de D-glucosa unidos por enlaces β (1- 4) que se asocian mediante puentes de Hidrógeno formando agregados (microfibrillas). Esta estructura la hace una sustancia insoluble en solventes comunes, en particular el agua.

Extracto	Sustancia que en forma concentrada, se extraerá de otra de la cual conservará sus propiedades esenciales y constitutivas.
Fibra bruta o cruda	Residuo libre de cenizas que resulta del tratamiento con ácidos y bases fuertes. Constituye el 20-50 por ciento de la fibra dietética total.
Fibra dietética	Remanente comestible de células vegetales, polisacáridos, lignina y sustancias resistentes a las enzimas digestivas humanas, incluyendo macronutrientes como celulosa, lignina, gomas, mucílagos, oligosacáridos, pectinas. Constituye las estructuras de soporte de las paredes celulares de las plantas. [AOAC]
Fibra insoluble	Tipo de fibra que no se disuelve en el agua, pero tiene la capacidad de absorberla. Está formada por: celulosa, hemicelulosa, almidón y lignina.
Fibra soluble	Tipo de fibra que se disuelve en el agua y al disolverse forma un gel o gelatina en el intestino. Está formada por: pectinas, gomas y mucílagos.
Gomas	Polisacáridos formados por ácido urónico, xilosa, arabinosa o manosa.

Harinas compuestas	Mezclas de harina de trigo con harinas de cereales y leguminosas para hacer panes, pastas y galletas. La mezcla de harinas de otros cereales, raíces y tubérculos de leguminosas, puede también considerarse como una tecnología de harinas compuestas.
Harina de maíz nixtamalizada	Harina que se obtiene al pasar el grano de maíz por el proceso de nixtamalización, que hace referencia al proceso alcalino de cocción del maíz para convertirlo en masa. (Bressani, 1990)
Harina de soya	Harina extraída de las hojuelas del poroto de soya; tiene 3 veces más proteínas que la carne, no contiene gluten y es rica en proteínas, minerales y vitaminas.
Hemicelulosa	Conjunto de polisacáridos estructurales que poseen la capacidad de ligarse a las fibrillas de celulosa, mediante puentes de Hidrógeno. Los componentes principales de esta fracción son: mananos, galactomananos y xiloglucanos.
Lignina	Polímero no carbohidrato que consiste en 40 unidades de fenol. Es el componente de los vegetales que le proporciona rigidez. Se combina con la celulosa para formar la pared celular y constituye la unión o relleno entre las células.

Mucílagos	Polisacáridos ramificados de pentosas (arabinosa y xilosa) que secretan las plantas frente a las lesiones. Cuanto mayor es su maduración, mayor es la cantidad de celulosa y lignina, y menor la de mucílagos y gomas.
Pectinas	Estructuras ricas en ácidos urónicos. Son solubles en agua caliente y forman geles. Su estructura consiste en cadenas no ramificadas de ácido galacturónico unidas por enlaces 1,4-.
Proteínas	Macromoléculas compuestas por carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y la mayoría también contienen azufre y fósforo. Están formadas por la unión de varios aminoácidos, unidos mediante enlaces peptídicos.
Trub	Proteína desnaturalizada y coagulada durante el proceso de cocción del mosto. Es el precipitado insoluble que resulta de la coagulación de proteínas y otros componentes nitrogenados que interactúan con los hidratos de carbono y polifenoles.

RESUMEN

El presente trabajo, tiene como finalidad la utilización de los residuos fibrosos secos obtenidos como subproductos del proceso de elaboración de cerveza (afrecho); y su incorporación en la elaboración de barras alimenticias energéticas.

Para el efecto, se realiza una evaluación nutricional, así como de las principales propiedades fisicoquímicas y biológicas del afrecho de malta; luego se aplicó un diseño de mezclas para identificar la mejor mezcla y elaborar el tratamiento experimental correspondiente, tomando en cuenta los cambios de las características organolépticas al introducir en la fórmula distintos porcentajes de fibra de afrecho a la harina de soya y maíz.

En la primera etapa, el afrecho se seca y muele, para obtener un material fibroso fino en forma de harina de color crema con olor dulce. Se determina la composición del afrecho, basado en los procedimientos establecidos por la AOAC. Siendo la composición promedio del afrecho, la siguiente: humedad 0,246, proteína 0,268, cenizas 0,272, grasas 0,895, fibra cruda 0,103, un alto contenido en fibra dietética 0,45, FND 0,475, FAD 0,229 y carbohidratos 0,590.

Con base en esto, en la segunda etapa se adiciona diferentes cantidades de afrecho (0, 5, 10, 15 y 25 por ciento) a la mezcla de harina de maíz y soya (70 y 30 por ciento, respectivamente) y mediante el análisis proximal, se determina la mezcla óptima que presenta un elevado beneficio nutricional y que cuenta con las características físicas, químicas y organolépticas de mayor aceptación y adecuadas para la elaboración de las barras energéticas.

Las mezclas presentan un aumento de fibra dietética en el rango de 10,30 - 23,84 por ciento al aumentar el contenido de afrecho, al igual que un aumento en el contenido proteico de 16,85 – 19,41 por ciento. Por lo que la incorporación de afrecho a la mezcla de harina de maíz y soya mejora considerablemente el aporte nutricional de la misma, y permite su utilización en el desarrollo de alimentos complementarios fortificados.

También se realizan pruebas de aceptación hedónica de 9 puntos, con la cual se determina la mezcla de mayor aceptabilidad, en el cual se evalúan las propiedades de sabor, color, textura y olor; para la cual se obtuvo una puntuación de 7,30, que equivale a la categoría me gusta moderadamente, correspondiente a la harina enriquecida con 15 por ciento de afrecho.

Posteriormente, mediante pruebas experimentales a nivel de laboratorio, se determinan las formulaciones y parámetros de proceso para obtener las barras energéticas, a partir de diferentes mezclas de harina de maíz, soya, afrecho, azúcar, miel, mantequilla, jalea y frutos secos y se diseña el diagrama del proceso de una línea de producción a escala industrial, y se determina el equipo necesario para la obtención de dichas barras de cereal.

Se eligió la barra energética con 15 por ciento de sustitución como la mejor, por contener mayor fibra dietética y proteína, además de ser la de mayor aceptabilidad. La barra energética tuvo una composición fisicoquímica de 0,769 de humedad, 0,279 de cenizas, 0,185 de proteína, 0,432 de grasa, 0,667 de carbohidratos de los cuales corresponde 0,225 a la fibra cruda y 0,149 de fibra dietética.

OBJETIVOS

General

Evaluar el efecto de la adición de diferentes cantidades de fibra de afrecho cervecero (0, 5, 10, 15 y 25 por ciento), sobre las propiedades fisicoquímicas, nutricionales y sensoriales de la mezcla de harina de maíz y soya (70 y 30 por ciento, respectivamente), para el diseño del proceso de elaboración de barras energéticas.

Específicos

1. Determinar la composición química del afrecho cervecero, mediante el análisis proximal de la materia prima, según lo establecido por los métodos AOAC y EBC.
2. Cuantificar el valor nutricional de 5 mezclas de harina de maíz y soya (70 y 30 por ciento, respectivamente), al adicionar afrecho en las proporciones de 0, 5, 10, 15 y 25 por ciento, a partir de un análisis proximal de humedad, extracto, proteína, cenizas, grasas, fibra cruda y fibra dietética, según lo establecido por los métodos AOAC.
3. Realizar una evaluación biológica en ratas, para determinar el índice de eficiencia proteica (PER), la relación proteínica neta (NPR) y la digestibilidad verdadera de las mezclas enriquecidas con 0, 3, 6 y 9 por ciento, de afrecho.

4. Evaluar el pH, la capacidad de retención de agua y la capacidad de hinchamiento de la mezcla de harinas de maíz, soya y afrecho, mediante análisis fisicoquímicos.
5. Realizar una evaluación organoléptica de aceptabilidad de las barras energéticas con las distintas mezclas de harina de maíz y soya enriquecidas con afrecho cervecero (0, 3, 6, 9 Y 15 por ciento), con base en la escala hedónica de nueve (9) puntos.
6. Diseñar el diagrama de proceso para la línea de producción de barras energéticas a partir de harina de maíz y soya, enriquecidas con la fibra y proteína del afrecho cervecero.

HIPÓTESIS

Hipótesis científica

La cantidad de nutrientes de la mezcla de harina de maíz y de soya enriquecida, depende de la proporción de fibra y proteína adicionada con el afrecho cervecero.

Hipótesis estadística

Hipótesis nula (H₀):

No existe diferencia significativa en los nutrientes que aporta la mezcla de harina de maíz y soya, y la mezcla enriquecida con fibra y proteína al adicionar diferentes cantidades de afrecho cervecero.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

Hipótesis alternativa (H_a):

Existe diferencia significativa en los nutrientes que aporta la mezcla de harina de maíz y soya, y la mezcla enriquecida con fibra y proteína al adicionar diferentes cantidades de afrecho cervecero.

$$H_a: \mu_1 \neq \mu_2$$

Donde:

- μ_1 Cantidad de nutrientes determinados por métodos químicos para la mezcla de harina de maíz y soya.
- μ_2 Cantidad de nutrientes determinados por métodos químicos para la mezcla de harina de maíz y soya enriquecida con afrecho cervecero.

INTRODUCCIÓN

Los desórdenes gastrointestinales, diabetes, obesidad y ciertas enfermedades cardiovasculares, tienen baja incidencia en los países que consumen gran cantidad de fibras. Por ello, la adición de fibra a los alimentos, es una alternativa para compensar su deficiencia en la dieta.

Durante el proceso de elaboración de cerveza, se obtienen como subproductos; el afrecho y el trub; el afrecho es el término que se utiliza para denominar en forma genérica al salvado procedente de la molienda de los cereales, cuya cáscara es desmenuzada en dicho proceso; corresponde a las capas externas del grano, pericarpio, con sus 3 subcapas: epicarpio, mesocarpio y endocarpio (ricas en fibras y minerales), la testa (rica en vitaminas y enzimas) y la capa de aleurona (rica en proteínas y grasas).

El afrecho, es frecuentemente un subproducto de la elaboración de la cerveza y de otras actividades agrícolas, se emplea en la industria de alimentación de los animales, principalmente ganado. Debido a que el afrecho proporciona fibra, grasas, vitaminas, aminoácidos y minerales, se emplea también en la industria de panificación para la elaboración de panes de salvado o integrales y galletas, que son muy nutritivos, y a la vez se aprovechan por la incorporación de fibra en la dieta de las personas.

Adicional al contenido de vitaminas, minerales, grasas, proteínas y fibras presentes en el afrecho, se encuentra la adición de nutrientes con la incorporación de la harina de maíz y soya en las cantidades apropiadas para obtener una proteína de óptima calidad, es además reforzada con una mezcla

de las principales vitaminas, minerales y el contenido de fibra que actualmente es ingerido en pocas cantidades por la población guatemalteca.

Otro subproducto de la industria cervecera es el trub, el cual se obtiene por la cocción del mosto que produce la desnaturalización de la proteína, este subproducto del proceso, se conoce como trub, es un precipitado insoluble que se forma en la parte superior de la olla de cocción, que resulta de la coagulación de proteínas y los más simples componentes nitrogenados que interactúan con los hidratos de carbono y polifenoles y precipitan, se compone principalmente de grasas pesadas y proteína.

Al final del proceso de fabricación, los subproductos obtenidos contienen valores bromatológicos importantes que los hacen susceptibles de ser utilizados, ya sea en fresco o deshidratados para la alimentación. Por consiguiente, la finalidad del presente proyecto, es obtener un alimento nutricionalmente mejorado, como lo es una barra energética a base de afrecho, harina de maíz y soya en las proporciones adecuadas, que tenga una buena aceptabilidad como una alternativa de consumo en la alimentación diaria y que daría una solución a mediano y largo plazo a la mala alimentación que tienen las personas actualmente.

A través de este estudio, se obtendrán diversos beneficios económicos al utilizarse residuos ahora desperdiciados. Además contribuirá a disminuir el impacto ambiental negativo que producen las grandes acumulaciones del material vegetativo y también eliminar los olores desagradables asociados con el proceso de descomposición de la biomasa.

1. ANTECEDENTES

En la industria procesadora de frutas y vegetales, los principales residuos orgánicos generados son para la alimentación animal o el desecho en vertederos y relleno sanitario. Sin embargo, estos subproductos contienen sustancias como fibra, colorantes, proteínas, aceites y vitaminas que pueden ser de interés en la industria alimentaria, farmacéutica, química o cosmética. En Guatemala, el afrecho se utiliza principalmente para la alimentación de ganado, debido a su bajo costo y gran disponibilidad como desperdicio de otras industrias. Además constituye un beneficio para las empresas, para quienes el manejo de los desechos obtenidos de su producción representa un costo elevado en cuanto a la disposición de desechos y el almacenamiento de los mismos.¹

En la actualidad, se ha hecho frecuente el uso de los distintos afrechos (avena, arroz y trigo) en la dieta alimenticia del hombre, debido a la gran cantidad de nutrientes y fibras dietéticas que contienen, lo que los convierte en aptos para una nutrición más completa. El afrecho se utiliza principalmente en la industria panificadora, en la elaboración de galletas, pan y pasteles.

Debido a la creciente problemática de desnutrición que enfrenta Guatemala, se ha ampliado la búsqueda de alimentos complementarios, sustitutos y enriquecidos, permitiendo el desarrollo de productos que aporten los nutrientes necesarios que son indispensables en la dieta alimenticia, principalmente de los niños y personas de escasos recursos. Con el propósito

¹ WOLFGANG, Kunze. *Tecnología para cerveceros y malteros*, 1era edición. Alemania, deutsche bibliothek, 2.

de aliviar esta situación, los investigadores del Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP), se dieron a la tarea de buscar alimentos que se elaboran con ingredientes disponibles en el país, que resultan económicamente accesibles y que sean culturalmente aceptables por la población guatemalteca.

Entre estos se encuentra la INCAPARINA®, que se compone de harina de maíz con harina de soya. Para mejorar su valor nutricional, se le agregó lisina, vitaminas (vitamina A, vitamina B₁, vitamina B₂, niacina) y hierro. Esta se inventó en 1959, como consecuencia de las investigaciones del Dr. Ricardo Bressani; actualmente se consume en varias regiones del país y es reconocido a nivel mundial. También se han desarrollado productos como la galleta escolar nutricionalmente mejorada, la cual tiene como ingredientes maisoy (70 por ciento maíz y 30 por ciento soya) o fortiharina y que constituye el principal alimento de la refacción escolar en Guatemala.²

Actualmente, el INCAP se encuentra en constante búsqueda de sistema de complementación proteica entre alimentos; por lo que se plantea el uso potencial del afrecho como materia prima para la elaboración de alimentos nutricionalmente mejorados que puedan ser utilizados como fuente de macro y micro nutrientes.

No se cuenta con estudios y/o investigaciones relacionadas con el valor nutricional del afrecho cervecero en Guatemala, ni de los beneficios al incorporarlo en la dieta alimenticia de las personas y su introducción en productos de panificación. Estudios recientes de los subproductos de la industria cervecera, revelan los beneficios del afrecho al incorporarlo en la alimentación animal:

² DARY, Omar. “Las bondades de la galleta nutricionalmente mejorada”. INCAP, 1997.

El primer análisis realizado en Guatemala referente al afrecho, fue realizado en el 2011, en la Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Este trabajo se titula: caracterización de subproductos derivados de la fabricación de la cerveza destinados para la alimentación animal, y fue elaborado por: Francisco Fernando Espinoza Escobar.

Esta investigación busca determinar el valor nutricional de los subproductos de la industria cervecera, e identificar los posibles usos para explotaciones pecuarias. Para el desarrollo de esta investigación se tomaron muestras de 1 kilogramo de afrecho una vez por día durante 2 semanas (10 muestras) y posteriormente se tomaron muestras durante 2 semanas más, tomando en cuenta los diferentes productos elaborados durante la semana y se almacenaron a temperatura entre 4 y 6 grados Celsius en el Laboratorio de Bromatología de la Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, se realizaron los análisis respectivos.

En esta investigación se consideró información general sobre los aspectos básicos del comprador como nombre de la finca, cantidad de subproducto que compra, frecuencia, especie animal que explota, forma de ofrecimiento, entre otros. Por último, se realizó a cada muestra el análisis bromatológico y valor energético; por lo que, se determinó que el afrecho de cerveza tiene 17,65 por ciento de proteína cruda, 0,504 por ciento de fibra ácido detergente, 5 por ciento de lignina, 7 por ciento de cenizas, fosforo (P) 6 gramos por kilogramo, calcio (Ca) 3 gramo por kilogramo y contenido energético (Edn) 3,276 mega calorías por kilogramo.

La decisión de introducir un alimento complementario, se toma principalmente porque: en Guatemala, sólo el 16 por ciento de niños menores

de 12 meses, alcanzan un consumo energético suficiente; únicamente el 35 por ciento de niños menores de 12 meses, alcanza la suficiencia proteica necesaria. Y existen experiencias exitosas en la utilización de alimentos complementarios, en los Estudios Longitudinales de Oriente realizado por INCAP en Guatemala.³

Se ha comprobado, con el desarrollo de la INCAPARINA® y el Vitacereal®, que la mezcla de harina de maíz y soya (70 por ciento maíz y 30 por ciento soya) proporciona un elevado valor calórico, proteico y de micronutrientes, vitaminas y minerales (carbohidratos 4 por ciento, fibra dietética 11 por ciento, proteína 9 por ciento, vitamina A 60 por ciento, hierro 30 por ciento ácido fólico 35 por ciento.), apto para todas las edades y estados fisiológicos, juegan un papel esencial en el crecimiento y prevención de enfermedades; siendo este la base para enriquecer las barras energéticas al complementarla con la fibra del afrecho.

³ SESAN (Secretaría de Seguridad Alimentaria y Nutricional) *Programa para la Reducción de la desnutrición crónica* (PRDC) 2006 – 2016.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Proceso de elaboración de cerveza en Guatemala

El proceso de elaboración de cerveza, consta de 3 etapas definidas, que son; cocimiento, fermentación y reposo, las cuales dependen del tipo de cerveza que se va a elaborar, debido a que según la clase de cerveza varía la cantidad y tipo de materia prima utilizado.

2.1.1. Materia prima

Las materias primas, son descargadas y enviadas a los silos mediante sistemas de transporte mecánicos que incluyen el pesado y limpieza que permiten eliminar las partículas extrañas que puedan contener.

2.1.1.1. Malta

El malteado, es el proceso por el cual los granos de cebada se ponen en remojo, hasta que éstos adquieren un grado de humedad determinado, lo cual provoca la germinación, lo que activa las enzimas presentes en el grano que reducen las cadenas de almidón para liberar azúcares.

El grano germinado contiene sustancias proteicas esenciales (amilasas o diastasas), las cuales transforman el almidón en maltosa, es transformada por la levadura en alcohol y CO₂, una vez germinada la cebada se seca.

Figura 1. **Granos de cebada para la elaboración de cerveza**



Fuente: Culturilla Cervecera. <http://culturillacervecera.pi3.es/glosario.php>. Consulta: 17 de septiembre de 2012.

2.1.1.2. Grits de maíz

Sémolas de maíz que están constituidas por la fracción del endospermo duro, rica en almidón y libre de grasa del grano de maíz, se obtienen a partir del proceso de degerminación en seco o semiseco del grano de maíz, que consiste en la separación del germen (rico en grasas) y pericarpio del grano de maíz, seguido de una etapa de molienda y cernido.

Figura 2. **Grits de maíz para la elaboración de cerveza**



Fuente: CALLEJO GONZÁLEZ, María Jesús. *Industrias de Cereales y derivados. Colección: Tecnología de alimentos*. Primera edición. España: AMV Ediciones, 2002. Pág. 25-67.

2.1.1.3. Levadura

Son los organismos unicelulares (de 5 a 10 micras), que transforman mediante fermentación los glúcidos y los aminoácidos de los cereales en alcohol etílico y dióxido de carbono (CO₂). Existen 2 tipos de fermentación: la fermentación alta; que corresponden a las levaduras flotantes *Saccharomyces cerevisiae*, que genera la cerveza *Ale* y la fermentación baja; que corresponde a las levaduras que se van al fondo durante la fermentación, *Saccharomyces Carlsbergensis* que se utilizan para la elaboración de la cerveza *Lager*.

2.1.1.4. Lúpulo

El lúpulo (*Humulus lupulus*), es una planta cuyos frutos secos se emplean para aromatizar y dar sabor amargo a la cerveza. Las flores del lúpulo tienen una resina de color amarillento que durante el proceso de elaboración de la cerveza, se transforma en sustancias amargas; además los ácidos del lúpulo proporcionan estabilidad antibacteriana y funcionan como conservante natural.

Figura 3. **Planta de lúpulo para la elaboración de cerveza**



Fuente: WOLFGANG, Kunze. *Tecnología para cerveceros y malteros*. Alemania, deutsche bibliothek, 2.

2.1.2. Molienda

La molienda de la malta, se realiza mediante rodillos cilíndricos para obtener los fragmentos de grano que contienen el almidón y las amilasas, y separar el afrecho (cáscara) que posteriormente servirá de material filtrante del mosto en el proceso de cocimiento. Se agrega agua para adelgazar la cáscara y facilitar la molienda sin dañar la cáscara.

2.1.3. Maceración y cocción de adjuntos

En la olla de la maceración, la malta molida y adjuntos se mezclan con agua, el objetivo es permitir que las enzimas de la cebada malteada conviertan el almidón contenido en el grano en azúcares (maltosa) fermentables que se requerirán posteriormente, obteniéndose además, vitaminas y minerales. Este proceso es conocido como sacarificación y es llevado a cabo por las amilasas presentes en la malta a temperatura de 62-72 grados Celsius durante 3 horas.

2.1.4. Filtración del mosto

La mezcla es transferida a la olla de filtración, donde el líquido es separado de los sólidos, la cual se filtra en una cuba decantadora (filtro Lauter), provista de doble fondo agujereado; con el objeto de rescatar los azúcares remanentes que han quedado entre la cascarilla del grano. El mosto se recircula hasta que sale claro, lo que indica que se formó la capa filtrante. La cuba de filtración, posee un falso fondo con rejillas que permiten retener la parte sólida, la cual se mueve con unos brazos giratorios para que el líquido pase a través de él.

2.1.4.1. Tolva de afrecho

El afrecho que proviene de la olla de filtración, se recolecta en una tolva mediante un tornillo sin fin, para luego ser enviados por aire a los silos para afrecho, almacenados y luego vendidos.

2.1.5. Calentamiento del mosto

El mosto proveniente de la cuba de filtración, es enviado al colector de mosto y cuando se tiene el volumen suficiente, se hace pasar por un intercambiador de placas para aumentar su temperatura y sea más fácil el cocimiento y disolución del lúpulo.

2.1.6. Cocimiento

El líquido es una solución compuesta principalmente de azúcares fermentables que se denomina mosto, durante la cocción del mosto, se da la disolución y transformación de componentes de lúpulo, formación y precipitación de compuestos proteicos, evaporación de agua, esterilización del mosto, destrucción de enzimas, formación de sustancias reductoras y la evaporación de sustancias aromáticas indeseables.

2.1.7. Clarificación

El mosto es enviado al separador o Whirlpool para la clarificación, la cual se logra a través de un movimiento de fuerzas centrífugas que separan la parte líquida de los sedimentos y partículas insolubles, tales como residuos de lúpulo y complejos proteínicos no deseados. El mosto entra en el depósito de forma

tangencial, produciendo fuerzas que arrastran el turbio, que queda depositado en la parte central del tanque y el mosto es bombeado al área de refrigerio.

2.1.7.1. Trub

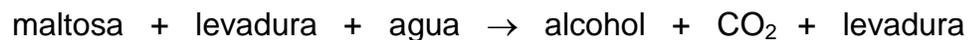
En esta etapa de cocimiento, se precipitan proteínas causantes de la turbidez final de la cerveza (trub), por lo que después del cocimiento, el mosto caliente es bombeado al tanque Whirlpool, donde se liberan las partículas precipitadas, el trub es compuesto de partículas grandes y debe ser extraído por no solo carecer de valor para la fabricación de cerveza, sino que es perjudicial para la calidad de la misma. El trub caliente, parte de la ruptura que se produce durante el cocimiento, está compuesto de 50-60 por ciento de proteína, 20-30 por ciento de otras materias orgánicas y minerales; el trub frío, está compuesto de proteínas (48-57 por ciento), taninos (11-26 por ciento) y carbohidratos (20-36 por ciento), se forma cuando el mosto se enfría y la cerveza se asienta. El valor nutritivo del trub caliente, es mayor que la del bagazo o afrecho, debido a que contiene proteína cruda más digerible por unidad de peso.

2.1.8. Enfriamiento

Se debe enfriar el mosto a una temperatura de 5 a 6 grado Celsius en un intercambiador de calor de placas. El objetivo del enfriamiento es flocular algunas proteínas que crean turbidez, así como preparar el mosto rápidamente para que las levaduras que se van a encargar de transformar los azúcares en dióxido de carbono y etanol, no compitan con hongos, pediococos o lactobacilos.

2.1.9. Fermentación y maduración

La fermentación es llevada a cabo por las levaduras, este hongo es capaz de transformar el azúcar maltosa en alcohol y CO₂ en ausencia de oxígeno. La reacción que se lleva a cabo se le conoce como fermentación alcohólica:



La fermentación tiene una primera etapa, en la que el número de levaduras crece evidenciado por la aparición de una gruesa capa de espuma blanca en la superficie del fermentador, a medida que los azúcares son consumidos, las levaduras tienden a depositarse en el fondo del fermentador (floculación) y la capa de espuma desaparece. En la segunda etapa se consigue clarificar y madurar la cerveza. La maduración de la cerveza se realiza a temperatura de -1 grados Celsius durante 4 semanas. El CO₂ producido, es recuperado para ser reinyectado a la cerveza; la levadura es extraída, siendo utilizada nuevamente.

2.1.10. Filtración

Al finalizar el proceso de maduración (30 días), la cerveza está libre de oxígeno, pero aún quedan contenidas células de levadura y otras partículas de turbidez, como sólidos en suspensión o proteínas, los cuales deben ser extraídos sin que tenga acceso a la cerveza el oxígeno y sin afectar el sabor, color, aroma y cuerpo de la cerveza.

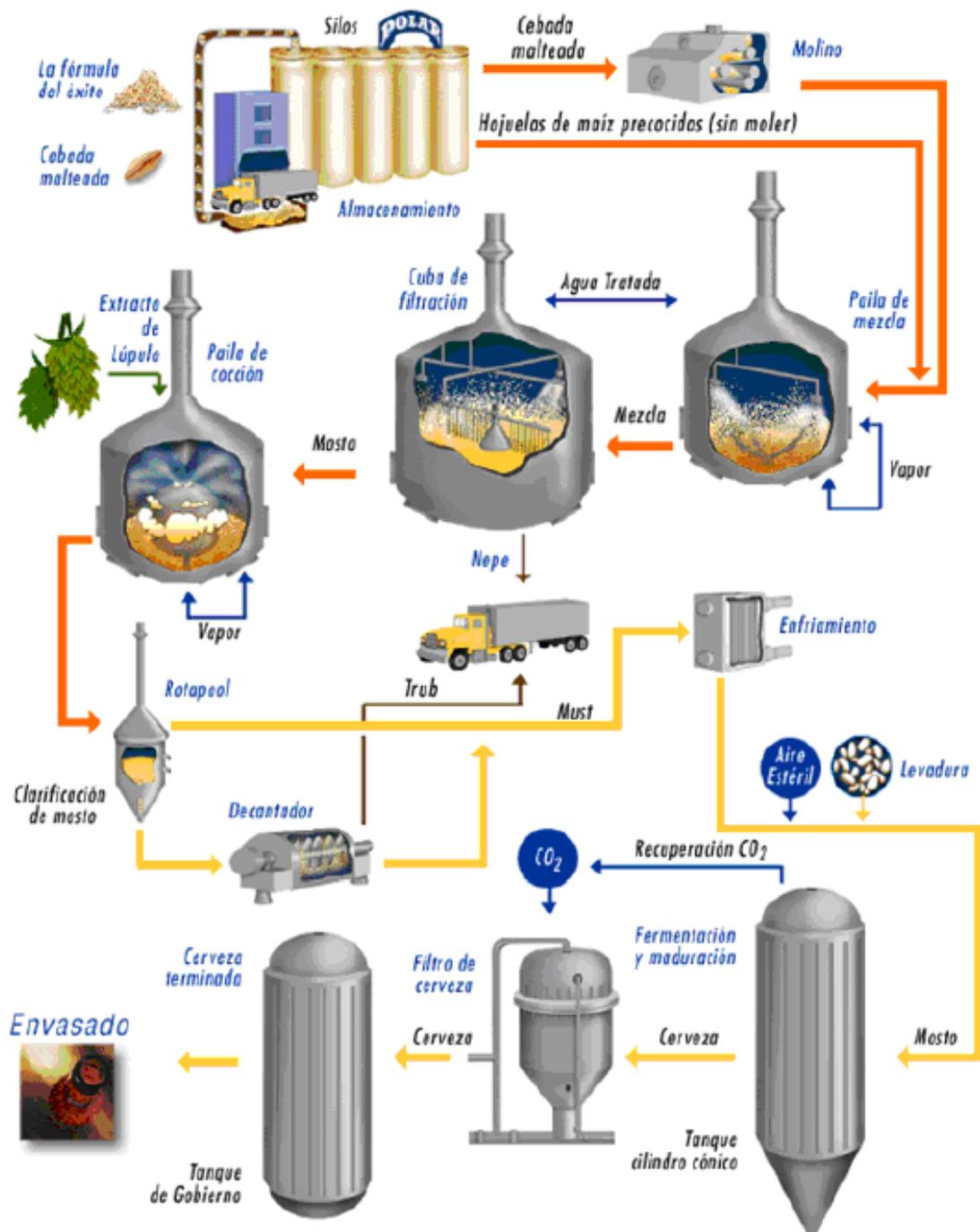
2.1.11. Envasado

El proceso de envasado cuenta con maquinaria de alta tecnología, controlada por computadoras y robots, diseñados específicamente para este propósito. Las máquinas llenadoras, son equipos giratorios donde los envases son llenados hasta el nivel deseado, para luego ser coronados por medio de equipos integrados que cierran herméticamente el producto.

2.1.12. Pasteurización

El producto envasado y revisado, se traslada a la pasteurizadora, donde se garantiza la estabilidad física. Luego, el producto es llevado a las etiquetadoras para ser recibido por una empacadora robot que lo colocará dentro de las cajas, para que pueda ser transportado a la máquina paletizadora. La pasteurización, es el proceso de esterilización de la cerveza, por medio del cual se reduce la cantidad de contaminación de microorganismos que pueden estar presentes.

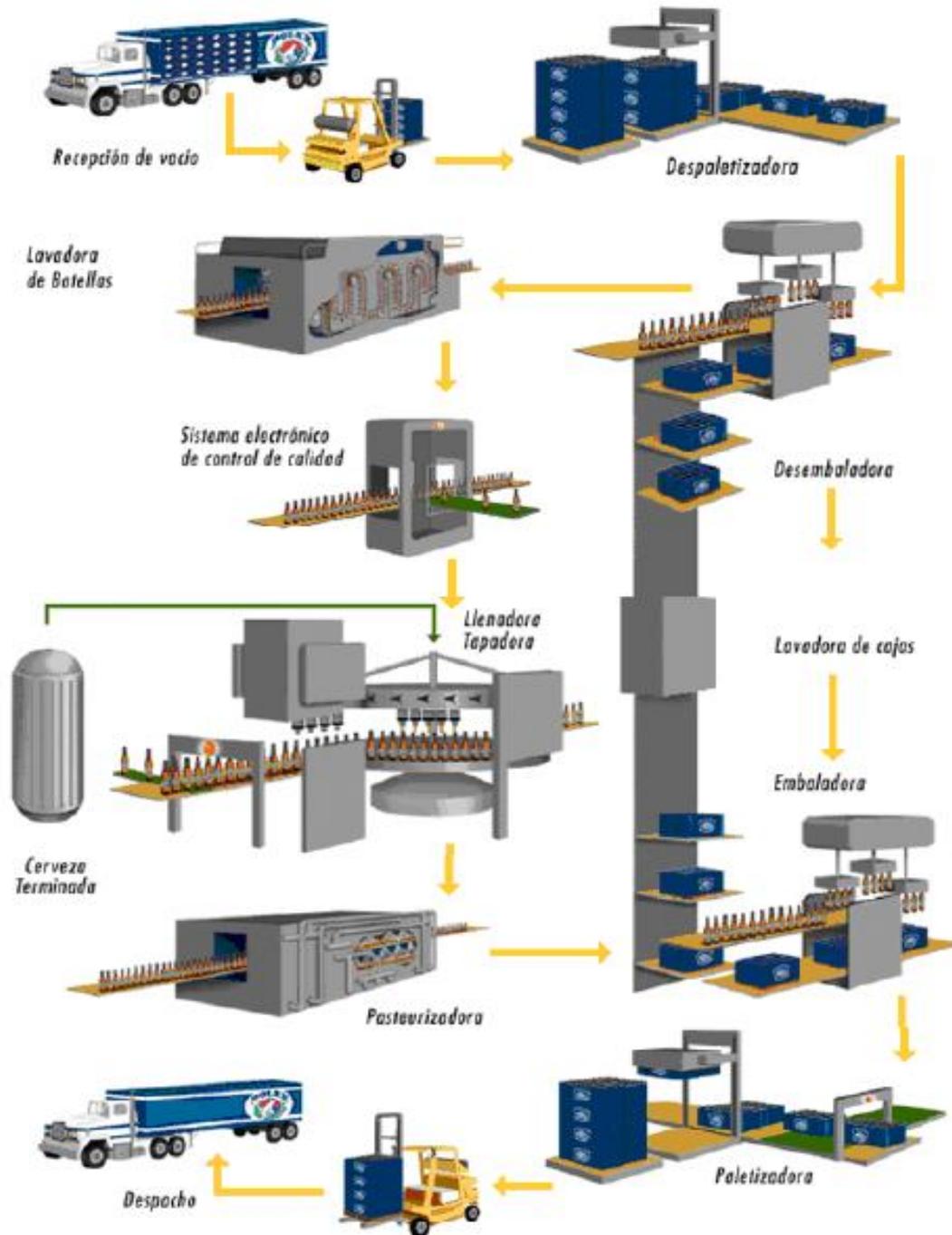
Figura 4. Diagrama del proceso de elaboración de cerveza



Fuente: *Proceso de elaboración de cerveza*. <http://beertec.galeon.com/productos136661.html>.

Consulta: 04 de agosto de 2012.

Figura 5. Diagrama del proceso de elaboración de cerveza



Fuente: *Proceso de elaboración de cerveza*. <http://beertec.galeon.com/productos136661.html>.

Consulta: 04 de agosto de 2012.

2.2. Afrecho de cebada

El bagazo de cebada, es un subproducto de la industria de cerveza por la hidrólisis amiloláctica de los polisacáridos de los granos de cebada durante el malteado (Stanbury et al., 1995). Es la resultante del proceso de prensado y filtración del mosto obtenido tras la sacarificación del grano de cereal (cebada).

Figura 6. **Harina de afrecho de cebada**



Fuente: *Proceso de elaboración de cerveza*. <http://beertec.galeon.com/productos136661.html>.
Consulta: 04 de agosto de 2012.

El bagazo de cerveza, es constituido por las glumas de la malta triturada y sustancias que no se han solubilizado durante el proceso. El contenido en fibra es relativamente elevado con un alto valor energético, puesto que su porcentaje de grasa es aceptable y la digestibilidad de su fibra es muy buena.

2.2.1. Nombre común

En Guatemala se le conoce comúnmente como afrecho, aunque también es llamado salvado, bagazo o cebadillo de cerveza. En otros países se le

conoce hez de malta, nepe o cebadillo. En Alemania se le conoce como kleie, salvado, jache, moyuelo o afrecho.

2.2.2. Contenido nutricional

El afrecho corresponde las capas externas del grano y más concretamente al pericarpio, con sus 3 subcapas: epicarpio, mesocarpio y endocarpio (ricas en fibras y minerales), la testa (rica en vitaminas y enzimas) y la capa de aleurona (rica en proteínas y grasas).

Figura 7. **Afrecho de cebada**



Fuente: Cervecería Centroamericana S.A., despacho de afrecho. 20 de noviembre 2012.

Contiene: almidón, dextrinas, maltotetrosa, maltotriosa, maltosa, glucosa, fructosa y sacarosa. Contiene también nitrógeno amoniacal y α -amino nitrógeno, proteínas, péptidos y aminoácidos que varían en función de la calidad del grano, pero no es suficiente para el crecimiento y fermentación de algunas levaduras. Es rico en vitaminas como biotina, ácido pantoténico, inositol, riboflavina, tiamina, piridoxina, ácido nicotínico, así como en minerales.

2.2.2.1. Proteínas

Las proteínas son necesarias para la construcción y regeneración del organismo. El bagazo de cerveza, es un subproducto rico en proteína, siendo su contenido proteico medio de un 24-26 por ciento sobre materia seca. El extracto etéreo representa un 6 por ciento. La degradabilidad efectiva de la proteína es baja (50 por ciento), siendo la velocidad de degradación de un 7 por ciento por hora.

2.2.2.2. Grasas e hidratos de carbono

La grasa del afrecho no contiene colesterol y su proporción en grasas poli-insaturadas doblan en proporción a las saturadas. Los cereales no contienen colesterol, por lo que no favorecen la aparición de enfermedades cardiovasculares. Es fuente de energía, por su capacidad para transformarse en glucosa, lo que proporciona una gran saciedad durante mucho tiempo y un mayor control de los niveles de azúcar en la sangre.

Tabla I. **Composición química (por ciento masa seca)**

Humedad	Cenizas	PB	PB-FND	PB-FAD	E	Grasa (por ciento)
75,7	3,53	27,00	8,92	2,70	8,00	45

Ácidos grasos	C _{14:0}	C _{16:0}	C _{18:0}	C _{18:1}	C _{18:2}	C _{18:3}
porcentaje Grasa	1,2	22,2	1,5	12,0	55,4	5,6
porcentaje Alimento	0,50	0,80	0,05	0,43	1,99	0,20

Fuente: FEDNA (Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal) EM y ENI según NRC (Consejo Superior de Investigación Científica, 2001); Según INRA (Instituto Nacional de Investigación Agronómica de Francia, 1988)

2.2.2.3. Vitaminas

El afrecho es rico en vitaminas del grupo B, la importancia de esta vitamina en la transformación de grasas, proteínas e hidratos de carbono, en energía es vital; también tiene importancia en la salud del sistema nervioso y en la producción de hormonas, enzimas y proteínas, así como el fortalecimiento del sistema inmunológico.

Esta vitamina es muy importante para las personas mayores y para los vegetarianos que llevan una dieta estricta sin ningún aporte de carne animal, huevos, leche o derivados. Además el salvado contiene niacina, piridoxina y tiamina; igualmente resulta destacable su contenido en vitamina E, que constituye uno de los principales antioxidantes.

2.2.2.4. Minerales

El afrecho es rico en minerales y destaca el contenido de potasio, fosforo, hierro, magnesio y manganeso. A pesar de su riqueza real en minerales, hay que considerar que es rico en fitatos, estos componentes inhiben la absorción de los minerales y perjudican la absorción de otros minerales; además su ingestión excesiva puede rebajar los niveles de minerales del organismo. En el residuo mineral destaca el contenido en P (6 g/kg) y (3 g/kg) el contenido en Ca.

Tabla II. **Macrominerales (por ciento de masa seca)**

Ca	P	Na	Cl	Miligramo	K	S
0,26	0,52	0,01	0,14	0,15	0,08	0,33

Fuente: FEDNA (Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal) EM y ENI según NRC (Consejo Superior de Investigación Científica, 2001); Según INRA (Instituto Nacional de Investigación Agronómica de Francia, 1988)

2.2.2.5. **Valor energético**

El valor energético del bagazo, es de aproximadamente 71 a 75 por ciento de los Nutrientes Digeribles Totales (NDT), en comparación con el maíz, el cual tiene un valor NDT de 88 por ciento. Esta energía se deriva principalmente de la fibra de alta digestibilidad. Además, contiene 7 – 10 por ciento de grasa cruda, lo que contribuye al valor de la energía total.

Tabla III. **Valor energético (mega calorías por kilogramo de masa seca)**

EM	ENI	UFI	UFc	EM	ENm	Enc
2,86	1,84	1,04	0,97	2,72	2,08	1,71

Fuente: FEDNA (Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal) EM y ENI según NRC (Consejo Superior de Investigación Científica, 2001); Según INRA (Instituto Nacional de Investigación Agronómica de Francia, 1988)

2.2.2.6. Fibra

La Association of Analytical Cereal Chemists [AACC],⁴ definió a la fibra dietética como el remanente de la parte comestible de las plantas y carbohidratos análogos resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado, con completa o parcial fermentación en el intestino grueso. Está constituida por polisacáridos, oligosacáridos, lignina y sustancias asociadas; con algún efecto laxante, disminución del colesterol sanguíneo o atenuación de la glucosa en sangre.

La fibra dietética o alimentaria se clasifica de acuerdo a sus propiedades físicas: la fibra soluble (pectinas, gomas mucílagos, algunas hemicelulosas) y la fibra insoluble (lignina, celulosa, la mayoría de las hemicelulosas).

La fibra es fermentada en el intestino grueso, produciendo Hidrógeno, metano, CO₂ y cadenas de ácidos grasos, las cuales, son rápidamente absorbidas por el tracto gastrointestinal y contribuyen al balance de energía del cuerpo. Interviene también en la velocidad y efectividad de absorción de los nutrimentos en el intestino grueso, además, es un alimento no calórico, ya que proporciona menos de 2 kilocalorías por gramo, no da a los alimentos viscosidad y es inodora y con sabor neutro.

Tiene un contenido en Fibra Neutra Detergente; hemicelulosa, celulosa, lignina y cutina (FND) del 44 por ciento y en fibra ácida detergente; celulosa, lignina y cutina (FAD) del 20 por ciento, aunque se trata de una fibra muy poco

⁴ LEE, S.C.; Prosky, And De Vries, J.W. *Determination of total, soluble and insoluble dietary fiber in foods. Enzymatic- Gravimetric method.* Collaborative study. (J. AOAC Int. 75:395-416). 1992.

efectiva (18 por ciento). El contenido en lignina, es de un 5 por ciento y el de cenizas de un 7 por ciento.

Tabla IV. **Contenido de fibra**

FB	FND	FAD	LAD	CNF	Almidón	pH
17,6	50,1	20,4	4,08	13,8	8,84	4,15

Fuente: FEDNA (Fundación Española para el Desarrollo de la Nutrición Animal) EM y ENI según NRC (Consejo Superior de Investigación Científica, 2001); Según INRA (Instituto Nacional de Investigación Agronómica de Francia, 1988)

2.2.2.6.1. Componentes de la fibra dietética

La fibra dietética está compuesta principalmente por hidratos de carbono (azúcares) de estructura compleja: celulosa, hemicelulosa, pectina, hidrocoloides y lignina en diferentes proporciones dependiendo su origen, naturaleza y funcionalidad.

2.2.2.6.2. Requerimientos de fibra dietética diario

La cantidad total de fibra necesaria diaria, depende de la edad y el género. Los varones de 14 a 50 años: 30 gramos al día, mientras que las mujeres de esta edad: 25 a 26 gramos. Para los mayores de 50 años de edad, los hombres: 30 gramos al día y las mujeres: 21 gramos. Debido a su tamaño más pequeño, niños de 1 a 3 años: 19 gramos al día, mientras que las edades de 4 a 8: 25 gramos.

- Hombres (19 a 50 años): Consumo real: 22 gramos
- Mujeres (19 a 50 años): Consumo real: 19 gramos

Tabla V. **Requerimiento de fibra por edad y género**

Population	Daily Fiber Recommendations
Children ages 1-3 years old	19 Grams
Children ages 4-8 years old	25 Grams
Young boys ages 9-13 years old	31 Grams
Young girls ages 9-13 years old	26 Grams
Teenage boys ages 14-18 years old	38 Grams
Teenage girls ages 14-18 years old	26 Grams
Young adult men ages 19-50 years old	38 Grams
Young adult women ages 19-50 years old	25 Grams
Men ages 50 years and older	30 Grams
Women ages 50 years and older	21 Grams

Fuente: SUNGSOO Cho, Susan. Handbook of Dietary Fiber. Marcel Dekker, Inc. 2001.

2.2.3. Beneficios del consumo de afrecho

Permite la proliferación de flora bacteriana, aumenta la tolerancia gastrointestinal, disminuye el nivel de colesterol, favorece la formación de ácidos grasos de cadena corta, regula el tránsito en el tracto digestivo y mejora la adsorción de micronutrientes como hierro y calcio. Para personas con problemas de obesidad, es recomendada debido a que cesa el hambre y aumentan la excreción de grasa en las heces y controla la presión arterial.

Su alto contenido en hierro, evita la anemia ferropénica. También es rico en potasio, lo que da una buena circulación, regulando la presión arterial; regula los fluidos corporales y a prevenir enfermedades reumáticas. Por su alto contenido en vitamina B1, ayuda al estrés y la depresión. Por ser rico en vitamina B2, ayuda a reducir las migrañas y a mantener una buena salud ocular y de la piel, también es útil para mejorar problemas nerviosos como; el

insomnio o la ansiedad. El contenido de vitamina B3, hace que favorezca al sistema circulatorio. Además, la niacina puede ayudar a reducir el colesterol, por lo que es recomendable para combatir enfermedades como la diabetes.

La vitamina B5, es útil para combatir el estrés y las migrañas y para reducir el exceso de colesterol. La vitamina B6, hace que sea útil en caso de diabetes, depresión y asma; previene enfermedades cardíacas, reduce los síntomas de túnel carpiano. La vitamina K hace que sea beneficioso para una correcta coagulación de la sangre y para el metabolismo de los huesos.

2.2.4. Desventajas del consumo de afrecho

La ingesta adecuada de afrecho, se establece entre 20 y 30 gramos al día. Si se sobrepasan los 30 gramos, se producirán flatulencia, distensión abdominal y digestiones pesadas. Además, contiene en su composición fitatos, unas sustancias que tomadas en exceso pueden impedir la absorción del hierro.

El afrecho se encuentra contraindicado en personas que sufren de colon irritable, cálculos biliares, problemas hepáticos o úlcera. Ciertos tipos de fibra pueden retardar la absorción de la glucosa y reducir la secreción de insulina. Además éste producto es altamente perecedero y se deteriora rápidamente, en especial cuando está expuesto a climas cálidos, en donde dura de 2 a 3 días. En climas templados su durabilidad aumenta hasta 6 días.

2.2.5. Usos del afrecho

El bagazo usualmente se desecha como subproducto de muchas industrias alimenticias, principalmente, pero tiene múltiples aplicaciones en

alimentos y combustibles por su elevado contenido nutricional y poder calorífico, algunos ejemplos son:

- Pan de bagazo al agregarle 400 gramos de bagazo por kilogramos de harina en la elaboración de pan.
- Como alimento para animales (cerdos, vacas, aves de corral, aves)
- Mezclarlo con miel y hacer barras de cereal.
- Mezclarlo con tierra y hacer compost que se utiliza como tierra fértil.
- Utilizarlo en un biodigestor para obtener metano.
- Obtención de precursores de biocombustibles.
- Utilizado para limpiar las aguas residuales de metales pesados.

2.3. Alimentos nutricionalmente mejorados con fibra y proteína

Se les llama alimentos nutricionalmente mejorados, a los alimentos a los cuales se les ha mejorado la calidad de su proteína mediante la técnica de complementación y constituyen una fuente adecuada de energía y de micronutrientes, con la finalidad de proveer al público los beneficios fisiológicos correspondientes. Los alimentos así desarrollados, deben presentarse a un precio conveniente y sobre todo tener un sabor agradable.

Cantidades de fibra dietética son adicionadas como ingredientes enriquecedores en algunas formulaciones, o buscando algún efecto en la textura en algunas otras. La Fibra Dietética Soluble (FDS) es utilizada como espesante, pues al sustituir almidón, harina, azúcar, grasas y aceites no sólo se incrementa el contenido de fibra, sino que también disminuye el aporte calórico del producto. Entre los alimentos enriquecidos con Fibra Dietética Insoluble (FDI) se encuentran los productos de panificación y los cereales para desayunos.

2.3.1. Barras de cereal

Las barras de cereal son alimentos funcionales; combinados, enriquecidos o fortificados; debido a los compuestos bioactivos del producto, contribuyen al beneficio de la salud (disminución de padecer enfermedades cardíacas, cáncer, diabetes, hipertensión) por las personas que lo consumen.

Las barras de cereal comunes pesan alrededor de 23 gramos y aportan entre 100 y 120 calorías en promedio, las versiones *light*, suelen ser un poco más livianas y tienen entre 60 y 70 calorías por unidad. En cuanto a las grasas, aportan entre 2 y 4 gramos por porción. Las proteicas aportan 220 calorías por unidad de 55 y 8 gramos de grasa.

2.3.1.1. Ingredientes utilizados

En las barras energéticas o de cereales, existen en su composición los cereales, las frutas desecadas, azúcares añadidos y otros productos como ingredientes destacados. El 40 por ciento del producto está constituido por cereales integrales (avena, arroz y trigo), el 27 por ciento de salvado y 9 por ciento de frutas deshidratadas, estos ingredientes son mayoritarios y dan el valor nutricional en los productos. El 25 por ciento restante corresponde a azúcares añadidos, aceites vegetales y otros elementos cuya función principal, es la de mejorar de las características organolépticas y su conservación (Prieto y Hilda 1994).

2.3.1.2. Composición nutricional

Entre los macronutrientes que componen a las barras de cereal, los carbohidratos son el ingrediente principal y las proteínas aunque en menor proporción. El tipo de lípidos es muy variado y depende de la materia prima con que se elaboren. Si son barras crocantes con sabores a frutas, miel o pasas de uvas, por ejemplo, predominan las grasas insaturadas con respecto a las saturadas. Además, contienen otros componentes en menor proporción, vitaminas y minerales como calcio y sodio.

Tabla VI. Composición nutrimental de las barras de cereal

Marca	Nombre comercial	Barra (g)	Ingredientes	Energía (kcal)	Proteína (g)	Energ/prot ⁺ (kcal)	Grasas (g) (% kcal)	HC ⁺⁺ (g)	Fibra (g)
Granvita:	Mordy	30	Amaranto con chocolate, cacahuete y pasas	144	2.6	55	7.0 (44)	19	–
	Mordy	30	Granola*** con chips de chocolate	128	2.0	64	4.0 (28)	22	0.2
	Mordy	30	Granola con malvavisco y chips de chocolate	108	2.8	38	1.7 (14)	24	0.2
	Mordy	30	Granola con miel	142	3.0	47	6.0 (38)	19	2.0
	Mordy	30	Granola con chocolate	140	2.9	48	6.0 (38)	19	0.2
Kellogg's	Kuadriskrispis*	27	Arroz tostado con sabor fresa, vainilla o chocolate	110	1.0	110	2.0 (16)	21	–
	Milkers	27	Cereal de maíz con leche sabor vainilla o chocolate	130	3.0	43	4.5 (31)	20	–
	Nutrigrain	39	Trigo con fruta (guayaba, manzana, piña o fresa)	140	2.0	70	3.0 (19)	27	1.0
Marinela:	Crusli	25	Multicereal con manzana	110	1.0	110	4.0 (33)	17	1.0
	Energy up (arroz)	30	Arroz inflado con sabor chocolate o vainilla con malvaviscos y chispas choc.	121	1.6	75	5.0 (37)	18	–
Nestlé:	Energy up (granola)	35	Granola c/miel, chocolate y cacahuete	154	3.3	47	6.3 (37)	22	–
	Snackattack**	28	Cereal de trigo con malvavisco. Vainilla y chocolate	132	1.6	82	4.1 (37)	22	0.1
Quaker:	Barras de avena	37	Harina de avena y trigo con manzana; fresa; plátano y fresa o frambuesa y fresa.	130	1.0	130	3.0 (21)	26	1.0
	Barras de avena	37	Harina de avena y trigo con fresa y queso.	130	2.0	65	3.0 (21)	26	< 1
	Chewy	28.3	Trigo integral y chispas de chocolate. Granola	110	2.0	55	2.0 (16)	22	1.0
	Chewy	28.3	Trigo integral con chocolate y malvavisco. Granola	110	1.0	110	2.0 (16)	22	1.0

Fuente: *Las Barras de Cereal como Sustituto de Comida*. <http://www.dietas.com/articulos/las-barras-de-cereal-comosustituto-de-comida.as>. Consulta: 29 de junio de 2012.

2.4. Análisis nutricional (análisis proximal)

Es la disciplina que se ocupa del desarrollo, uso y estudio de los procedimientos analíticos para evaluar las características de alimentos y de sus componentes. Estos incluyen análisis bromatológicos y los análisis químicos con los que se determina los contenidos de Materia Seca (MS), Proteína Cruda (PC), cenizas, carbohidratos (CHO's), grasas (EE), Fibra (FC), Fibra en Detergente Neutro (FDN), Fibra en Detergente Ácido (FDA), Lignina en Detergente Ácido (LDA) y minerales (P, K, Ca, Miligramo, Fe, Cu, Zn, Na y S).

En este caso, se determinará: humedad, fibra, azúcares, proteínas, cenizas, entre otros, para cada muestra. Los métodos se basan en los procedimientos de la AOAC y el MEBAK (EBC) que se detallan a continuación:

2.4.1. Sólidos totales y humedad en harinas, método de estufa de aire: AOAC 925.09

El material a secar, se pone en contacto con gas caliente que suministra el calor de vaporización del agua y arrastra el vapor formado. Se realiza una gravimetría que se basa en la pérdida de peso de la muestra por evaporación del agua. Secado en estufa de aire (horno) a 130 ± 3 grados Celsius por una hora.

Se calcula el porcentaje en agua por la pérdida en peso debida a su eliminación por calentamiento. La materia seca de los alimentos, está constituida por una fracción orgánica y otra inorgánica; el componente inorgánico está dado por los minerales y el componente orgánico está constituido por carbohidratos, lípidos, proteínas, ácidos nucleídos, ácidos orgánicos y vitaminas.

2.4.2. Extracto soluble, total y digerible: método MEBAK

El extracto, es la sustancia que en forma concentrada se extraerá de otra de la cual conservará sus propiedades esenciales y constitutivas. El extracto soluble está constituido por azúcares, dextrinas y proteínas, los cuales fueron extraídos del grano. El extracto total (extracto residual) del afrecho, se compone del extracto lavable y extracto digerible. El extracto lavable o soluble se determina por lo general en el jugo de afrecho prensado, el total a través de una cocción del afrecho y luego recuperado por una digestión enzimática. El extracto digerible, es la diferencia entre el extracto total y el lavable.

2.4.3. Fibra dietética: método AOAC 985.29

La fibra dietética son los polisacáridos y lignina que no son digeridos por enzimas humanas. Forman parte de la Fibra Dietética (FD) componentes estructurales de la pared de las células vegetales: celulosa, hemicelulosa, sustancias pécticas y lignina y no estructurales, como gomas, mucílagos, polisacáridos de algas y celulosa modificada. La fibra se clasifica de acuerdo a su solubilidad en agua en Fibra Insoluble (FI) (celulosa, hemicelulosas y lignina) y Fibra Soluble (FS) (pectinas, gomas, mucílagos, ciertas hemicelulosas, polisacáridos y celulosa modificada).

Este método determina Fibra Total (FT) en la muestra (desengrasada), por eliminación del almidón con α -amilasa termoestable (denominada Termamyl) y amiloglucosidasa, y de la proteína con proteasa. Una vez finalizada la digestión enzimática. El contenido total de la fibra de la muestra se determina agregando etanol al 95 por ciento a la solución para precipitar toda la fibra; luego se filtra, se recupera, se seca y se pesa, el residuo se reporta

como fibra, el filtrado se aparta para la determinación de fibra soluble, mientras que el residuo determinará la fibra insoluble.

La determinación de fibra dietética total, soluble e insoluble, se realizó mediante el método 985.29 (AOAC, 1997) utilizando el *Total Dietary Fiber Assay Kit* marca *Sigma*.

2.4.4. Fibra cruda: método AOAC 962.09

La fibra cruda o bruta es el residuo orgánico lavado y seco que queda después de hervir sucesivamente la muestra desengrasada con ácido sulfúrico e hidróxido de sodio diluido (método 962.09), se calculó después de la digestión ácida y alcalina.

En los aparatos de fibra cruda (multiunidades de extracción), el objeto es producir un sistema de digestión simulada, en donde las muestras al final de la prueba contengan partes no digeribles, tales como celulosa y otros.

2.4.5. Fibra neutro detergente

Es el residuo insoluble en una solución detergente neutra y se compone de celulosa, hemicelulosa y lignina. Además, existen otros componentes minoritarios como residuos de almidón, cenizas y nitrógeno.

Este método es útil para la determinación de fibras vegetales en alimentos; separa los componentes nutricionales solubles de aquellos que no son totalmente aprovechables o que dependen de la fermentación biológica para su aprovechamiento. El método tiene limitaciones en su precisión, cuando los valores de proteína son muy altos y los valores de fibra son bajos.

2.4.6. Fibra ácido detergente

Es el residuo insoluble en una solución detergente ácida y esta constituido fundamentalmente por celulosa y lignina, aunque suelen existir otros componentes minoritarios como nitrógeno y/o minerales. Este método permite tener una aproximación del grado de digestibilidad de las fibras en el alimento. La muestra es digerida por medio de cetil-trimetil-amonio en ácido sulfúrico y el residuo, es considerado como la fibra no digerible.

2.4.7. Proteínas: método Kjeldahl: método AOAC 954.01

Los procedimientos más utilizados no determinan directamente la proteína bruta, sino el contenido en nitrógeno, incluyendo el nitrógeno proteico y el no proteico. Durante el proceso de descomposición ocurre la deshidratación y carbonización de la materia orgánica combinada con la oxidación de carbono a CO₂. Este método es una volumetría y puede resumirse en 3 etapas:

- Digestión de la muestra con ácido sulfúrico concentrado en presencia de catalizadores que aceleran el proceso.



- Destilación



- Titulación

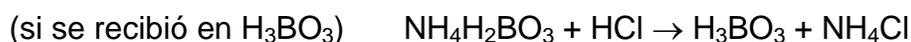


Tabla VII. Factores de conversión de nitrógeno a proteína

Productos Animales		Productos Vegetales	
Alimento	Factor	Alimento	Factor
Carne y Pescado	6.25	Trigo	
Gelatina	5.55	Completo	5.83
Leche y productos lácteos	6.38	Afrecho	6.31
Caseína	6.40	Embrión	5.80
Leche Humana	6.37	Endosperma	5.70
Huevos		Arroz y harina de arroz	5.95
Completo	6.25	Centeno y harina de centeno	5.83
Albúmina	6.32	Cebada y harina de cebada	5.83
Vitelio	6.12	Avena	5.83
		Maíz	6.25
		Mijo	6.31
		Frijoles	6.25
		Soya	5.71
		Nueces	
		Almendras	5.18
		Brazil	5.46
		Manía	5.46
		Otros	5.30

Fuente: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).
Producción y manejo de datos de composición química de alimentos en nutrición.

2.4.8. Cenizas en harinas, método directo AOAC 923.03

Las cenizas de un alimento, son equivalentes al residuo inorgánico que queda después de calcinar la materia orgánica. La determinación en seco se basa en la descomposición de la materia orgánica quedando solamente materia inorgánica en la muestra.

En este método toda la materia orgánica se oxida en ausencia de flama a una temperatura que fluctúa entre los 550 – 600 grado Celsius; el material inorgánico que no se volatiliza a esta temperatura se conoce como ceniza.

2.4.9. Grasa cruda: método AOAC 920.39

La extracción por medio de solventes orgánicos, permite la separación cuantitativa de un componente o grupo de componentes (por ejemplo, grasas) de una mixtura de sólidos. En este caso, la grasa equivale al peso del residuo que se obtiene luego de exponer una muestra previamente deshidratada (materia seca), a reflujo con un solvente orgánico no polar por un período de tiempo determinado. Este procedimiento extrae, además de las grasas o aceites presentes, todos los compuestos orgánicos solubles en el solvente utilizado.

El equipo VELP Ser 148, basado en los principios de la técnica Soxhlet, está diseñado para aumentar la eficacia del método y subsanar su déficit: permite seleccionar el programa adecuado al solvente utilizado y procura un ahorro considerable en solvente reduciendo el costo por análisis.

2.4.10. Capacidad de Retención de Agua (CRA)

Expresa la máxima cantidad de agua que puede ser retenida por una muestra de materia seca de peso conocido, en presencia de un exceso de agua y bajo la acción de una fuerza patrón. De esta propiedad, depende el efecto fisiológico de la fibra y el nivel máximo de incorporación a un alimento. La retención de agua afecta la viscosidad de los productos, facilitando o dificultando su procesamiento. Entre los factores que influyen en la Capacidad de Retención de Agua (CRA), en una fibra se encuentran el tamaño de partícula, el potencial de Hidrógeno (pH) y la fuerza iónica.

2.4.11. Capacidad de Hinchamiento (CH)

Se refiere a la capacidad del producto para aumentar su volumen en presencia de un exceso de agua. En esta característica tiene influencia la cantidad de los componentes polisacáridos, porosidad y tamaño de partícula de la fibra. En la industria panificadora la inclusión de fibra, en referencia a esta propiedad, soluciona problemas relacionados con la pérdida de volumen y humedad, proporcionando mayor estabilidad durante la vida de anaquel.

2.4.12. Índice de eficiencia proteica (PER), razón proteínica neta (NPR) y digestibilidad verdadera

El PER y el NPR, evalúan el valor nutricional de las proteínas basados en cambios de peso corporal de los animales de experimentación; es decir, cuanto de la proteína ingerida es traducida o convertida en peso corporal.

Para la determinación de la digestibilidad, se mide el nitrógeno ingerido y el de las fecas desecadas y molidas (por Kjeldahl) de cada rata durante el ensayo del PER. Luego se calcula la digestibilidad aparente, restando del N total ingerido el N total de las fecas y multiplicando esta diferencia por 100; la razón proteica neta, toma en cuenta el nivel de ingestión de la proteína necesaria para la mantención, al incluir un grupo de ratas que recibe una dieta proteica durante cierto tiempo.

2.5. Análisis sensorial

Se refiere a la medición científica de los atributos de un producto que deben ser percibidos por los sentidos del gusto, olfato, oído, vista y tacto. Se basa en catas en las que pueden participar personas entrenadas o

consumidores; y es utilizado para caracterizar y establecer diferencias con respecto a los atributos sensoriales de los productos y de esta manera establecer su aceptabilidad por parte de los consumidores.

2.5.1. Evaluación hedónica

En una evaluación hedónica, las categorías se convierten en puntajes numéricos de 1 al 9. En la prueba hedónica de 9 puntos, los panelistas marcan una categoría en la escala que va desde:

- Me disgusta muchísimo 1
- Me disgusta mucho 2
- Me disgusta moderadamente 3
- Me disgusta un poco 4
- Me es indiferente 5
- Me gusta un poco 6
- Me gusta moderadamente 7
- Me gusta mucho 8
- Me gusta muchísimo 9

2.5.2. Diseño de la línea de producción y equipos a utilizar

Para el proceso de elaboración de la barra energética, se utilizan los siguientes equipos: mezcladora, amasadora, compresora, cortadora, secador de capacidad de 120 grados Celsius, y una máquina envasadora.

2.5.2.1. Recepción de la materia prima

La materia prima se recibe directamente en la zona de carga y descarga, al recibirla se necesita de una bodega libre de humedad y de temperaturas altas, así se evitará, el deterioro del afrecho, debido a que este es un material orgánico susceptible a fermentación y contaminación. Además se requiere de montacargas para recibir las harinas, miel, azúcar, pasas, manteca y aditivos, los cuales los trasladaran directamente al área de almacenamiento.

2.5.2.2. Almacenamiento de la materia prima: silos

Siendo el afrecho un producto perecedero, debe ser almacenado a temperaturas de refrigeración para minimizar su deterioro. Los cereales son almacenados en silos por períodos de hasta 6 – 8 meses. El afrecho seco puede almacenarse por períodos de un año y la harina de maíz y soya se almacena hasta por 2 meses. El manejo interno y descarga se realiza manual o mecánicamente con ayuda de montacargas. El almacenamiento también se realiza a granel, para ello se requieren silos o tolvas de gran tamaño.

2.5.2.3. Análisis de laboratorio

El control de calidad, asegura que sólo aquellos ingredientes que cumplen con las especificaciones adecuadas, sean aceptados para usarlos en la manufactura de alimentos. El análisis bromatológico incluye: humedad, cenizas, proteínas, extracto etéreo, fibra, actividad de agua y calidad sensorial. En el análisis microbiológico, se determina presencia de hongos, levaduras y enterococos totales y fecales, coliformes totales, clorstridium, salmonella, scherichia coli, stafilococos, streptococos, anaerobios totales y sulfito.

2.5.2.4. Secado de afrecho: secador de tamices transportadores

Se efectúa inicialmente una deshidratación del producto para eliminar de un 10 a un 20 por ciento de agua, mediante estrujamiento; el silo de almacenamiento, cuenta a la salida con un estrujador definido por un tornillo sin fin cilíndrico-cónico y con carcasa perforada. El producto se va secando gradualmente, por medio de una corriente de aire interior y una circulación de agua caliente por la camisa coaxial a la hélice del transportador, cayendo finalmente al secador.

Luego, pasa a un secador que consiste en tamices transportadores con circulación a través del sólido, conteniendo una capa de 25 a 150 milímetros de espesor del material y se transporta sobre un tamiz metálico que se mueve a través del túnel de secado, que consiste en secciones separadas cada una con ventilador y calentador de aire. Las dimensiones de estos tipos de secadores, son de 2 metros de ancho y de 4 a 50 metros de longitud, dando lugar a intervalos de tiempo de 5 a 120 minutos. El tamaño mínimo del tamiz es de 30 mallas.

2.5.2.5. Molienda: molino de martillo

El objetivo es la reducción de tamaño y la obtención de un producto con una granulometría determinada; consiste en el fraccionamiento de los granos en trozos más pequeños, para facilitar el aprovechamiento de los nutrientes. Se utiliza un molino de martillo, el cual consta de una tolva de alimentación con mecanismo de regulación de martillos fijos u oscilantes montados en un eje de rotación, de una criba y de un sistema de descarga que puede ser por gravedad o por medio de un ventilador. Los martillos tienen una separación de

2,5 a 7,5 centímetros y giran a una velocidad de 1 500 a 4 000 revoluciones por minuto. En la descarga se succiona el producto molido y se lleva al separador (ciclón).

2.5.2.6. Tamizado: tamiz vibratorio

Es la operación de separación de una masa de partículas en 2 o más fracciones, tal que cada una sea más uniforme en tamaño que la masa original. Consiste en hacer pasar partículas sólidas de diferentes tamaños por un tamiz, las partículas de menor tamaño pasan por los poros del tamiz atravesándolo y las grandes quedan retenidas. Para que se lleve a cabo, debe existir una vibración que permita que el material más fino traspase el tamiz.

2.5.2.7. Pesado

Aquí se inicia propiamente el proceso productivo, ya que este pesado se refiere a la cantidad que se procesará en un lote de producción. El pesaje de las materias primas se realiza con las balanzas electrónicas o mecánicas.

2.5.2.8. Dosificación

Consiste en adicionar la materia prima necesaria según la formulación, se realiza por medio de tolvas dosificadoras, las cuales cuentan con sensores. Las tolvas tienen un tornillo sinfín de 2 velocidades (alta y baja); además, se utilizan tolvas de alivio y básculas. Todas las ordenes de dosificación son sistematizadas con programas lineales de controles en caso de que este sistema falle, se tienen sistemas mecánicos para realizar el procedimiento.

2.5.2.9. Batido

Se diferencia del amasado en que en este caso, se busca incorporar aire a la masa que se elabora, con lo cual el proceso suele ser enérgico y a gran velocidad. La masa que le darán forma a las barritas, se elaborará a partir de la mezcla de margarina batida con cierta cantidad de azúcar y agua, con una batidora industrial hasta tener la consistencia deseada. Luego se agrega la mezcla de harinas enriquecida, las cuales serán los ingredientes claves para darle la textura deseada a la barra. El proceso necesita de movimiento continuo para evitar que la mezcla se adhiera a las paredes del equipo.

2.5.2.10. Mezclado: mezcladora horizontal

El objeto de mezclado, es lograr una distribución uniforme de 2 o más componentes en una masa, mediante un flujo generado por procedimientos manuales o mecánicos. De esta manera se busca lograr una pasta homogénea.

2.5.2.10.1. Elaboración del relleno

El relleno puede ser a partir de diferentes frutas deshidratadas, tales como, piña, fresa, melocotón, pasas, moras, entre otras, en proporción con nueces y almendras picadas. También se puede realizar el relleno con mermelada de diferentes frutas para hacer las barritas más dulces y húmedas.

2.5.2.11. Amasado: amasadora

Las amasadoras cuentan con un sistema que permite un movimiento envolvente de la masa sobre sí misma, disponen de una artesa de acero

inoxidable y un sistema de brazos que se mueve en la masa. Entre los más habituales se encuentran; la amasadora con eje espiral y cortante, la de brazos y la de horquilla. Este proceso dura aproximadamente 10 minutos, luego del mezclado se vierte el preparado en un contenedor.

2.5.2.12. Transportadores de banda

La masa se extiende a lo largo de una barra transportadora y es estirada a lo largo de toda la barra hasta alcanzar el grosor deseado, luego por medio de una tolva dosificadora se agrega el relleno y se dobla para luego ser compactadas y cortadas. Los transportadores de banda, consiste en una cinta que corre sobre rodillos móviles tensada, y que cuenta con un alimentador y un descargador. La cinta se hace de lona, rayón, nylon, hule y puede ir reforzada con tensores de acero.

2.5.2.13. Compresión: prensas de rodillo

La etapa de formación, implica la aplicación de fuerza de compresión a una masa de matriz de cereales para compactar la masa en una estructura cohesiva que conserve su forma después de la refrigeración del aglutinante. Se pueden utilizar prensas de rodillo o equipos de laminación, tales como los que comprenden uno o más pares de rodillos.

Una mayor compresión aumenta la densidad final de la barra, dado que reduce la cantidad y el grado de espacios vacíos. Generalmente, las fuerzas de compresión aplicadas durante la laminación, no superan los 3 500 gramos por centímetro², y pueden variar entre 700 y 3 500 gramos por centímetro² (de 10 a 50 psi), particularmente menos de 1 750 gramos por centímetro² (25 psi).

2.5.2.14. Secado u horneado

La lámina de cereales se expone a una etapa de calor antes o después de cortar la lámina en barras. Esta etapa puede comprender calentar la lámina de cereales de 1 a 20 minutos a 200 grado Fahrenheit (93 grado Celsius) a 450 grado Fahrenheit (323 grado Celsius).

Se usa un horno de calentamiento indirecto, de modo que la combustión desde el sistema quemador, no entra en contacto con el producto, por lo que, no existe convección en el horno. En estos hornos, el aire calentado procedente del quemador, se hace circular a través de los conductos por encima y por debajo de la banda del horno, de modo que los conductos radian energía.

Para hornos de calentamiento indirecto, el tiempo de residencia de la capa de matriz de cereal en cada zona del horno, puede ser de 2,5 minutos hasta de 5 a 10 minutos. La barra procesada de esta manera, desarrolla una mayor masticabilidad a lo largo del tiempo y la vida en almacenamiento se prolonga.

2.5.2.15. Refrigeración

La capa formada pasa a través de un medio de refrigeración para rebajar la temperatura de la barra lo suficiente para solidificar el aglutinante. El refrigerador puede ser un túnel de refrigeración, que se mantiene a una temperatura de aproximadamente 0 a 16 grado Celsius (32 a 80 grado Fahrenheit), a través del cual la capa calentada puede ser transportada de forma continua, también pueden enfriarse gradualmente en un congelador/nevera.

2.5.2.16. Corte

Después se corta en los tamaños de pedazos o barras individuales deseados. Las capas de matriz de cereales, pueden cortarse mediante cualquier medio convencional o adecuado útil para dichos fines, por ejemplo, cortadoras de tiras, guillotinas y demás. También podrían usarse cortadoras ultrasónicas.

Las tiras pueden tener cualquier anchura adecuada, tal como de 1,5 a 6 centímetros, y se corta en sección transversal en barras o pedazos de 3 a 15 centímetros de longitud. En general, puede proporcionarse una densidad volumétrica aparente de aproximadamente 0,05 a 0,5 gramo/centímetro³, un contenido de humedad de menos del 15 por ciento y pueden cortarse en tamaños que tengan un peso entre 10 y 80 gramos.

2.5.2.17. Envasado o empaquetado

Las máquinas empaquetadoras consisten en una cinta que posiciona y transporta los productos hasta un embudo formado por lámina de plástico, la cual sufre un termosellado longitudinal, la cual procede al sellado transversal y corte. Las barras energéticas se las empaca en un polímero metalizado para su conservación.

3. DISEÑO METODOLÓGICO

3.1. Variables

Con base en la investigación teórica realizada, se determinaron los factores que influyen; tanto en el diseño de una línea de producción como en el análisis químico nutricional, biológico y sensorial de la mezcla de harina de maíz y harina de soya enriquecida con fibra de afrecho para obtener barras energéticas; por lo que, se determinaron las variables constantes, de entrada y los factores que son controlables y no controlables dentro de la experimentación y el proceso productivo.

Tabla VIII. **Variables experimentales a medir**

No.	Variable	Dimensional	Variables		Factores Perturbadores	
			Constante	Variable	Control	De Ruido
Sólidos totales y humedad en harinas, Método AOAC 925.09						
1.	Temperatura y tiempo secado	grados Celsius por hora	X		X	
2.	Humedad	por ciento	X			X
Extracto soluble, total y digerible: Método MEBAK						
3.	Agua (H ₂ O)	Mililitros		X		X
4.	Temperatura y tiempo de maceración	grados Celsius por hora		X	X	
	Termamyl, SAN súper y cloruro	Mililitros	X		X	

Continuación de la tabla VIII.

5.	Extracto total, soluble y digerible	por ciento	X			X
Fibra Dietética: Método AOAC 985.29						
6.	Etanol 95 por ciento y 78 por ciento (C ₂ H ₆ O)	Mililitros	X			X
7.	Acetona (C ₃ H ₆ O)	Mililitros	X			X
8.	Buffer fosfato (Na ₂ HPO ₄)	Mililitros		X	X	
9.	α-amilasa	Mililitros	X		X	
10.	Proteasa	Miligramo	X		X	
11.	Amiloglucosida	Mililitros	X		X	
12.	Hidróxido de sodio 0,275 N (NaOH)	Mililitros		X	X	
13.	Ácido Clorhídrico (HCl)	Mililitros		X	X	
14.	Temperatura y tiempo de secado	grados Celsius por min	X		X	
15.	Contenido de fibra	por ciento	X			X
Proteínas: Método Kjeldahl: Método AOAC 954.01						
16.	Ácido sulfúrico (H ₂ SO ₄)	Mililitros	X		X	
17.	Ácido bórico/ clorhídrico 0.1N (H ₃ BO ₃ /HCl)	Mililitros		X		X

Continuación de la tabla VIII.

18.	Hidróxido de sodio 0,1N y 36 por ciento (NaOH)	Mililitros	X			X
19.	Proteínas	por ciento	X			X
Cenizas en harinas, Método directo AOAC 923.03						
20.	Temperatura y tiempo de calcinación	grados Celsius por segundo	X		X	
21.	Cenizas	por ciento	X			X
Grasa cruda, Método AOAC 920.39						
22.	n-Hexano	Mililitros		X		X
23.	Contenido de grasa	por ciento	X			X
Fibra cruda, Método AOAC 962.09						
25.	Ácido sulfúrico 0,255N (H ₂ SO ₄)	Mililitros	X		X	
26.	Hidróxido de Sodio 0,312N (NaOH)	Mililitros	X		X	
27.	Alcohol etílico 95 por ciento	Mililitros	X		X	
28.	Ácido clorhídrico al 1 por ciento	Mililitros	X		X	
29.	Temperatura y tiempo de secado	grados Celsius por segundo		X	X	
30.	Contenido de fibra cruda	por ciento	X			X

Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), elaboración propia en Excel.

3.2. Delimitación de campo de estudio

La presente investigación, se trabajó en conjunto con Cervecería Centroamericana, S. A., el Centro de Estudio en Ciencia y Tecnología de Alimentos (CECTA y el Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP), de la mano del Dr. Ricardo Bressani.

- Área: alimenticia
- Industria: alimentos
- Proceso: diseño del proceso para la obtención de barras energéticas proteicas a partir de harina de soya y de maíz enriquecida con la fibra del afrecho, subproducto de la industria cervecera y su evaluación nutricional respectiva.
- Etapa del proceso: evaluación nutricional del afrecho y de las distintas mezclas de harina de maíz y soya con fibra de afrecho, para la obtención de barras energéticas proteicas.
- Ubicación: el afrecho se obtendrá de una empresa embotelladora de bebidas y refrescos en Guatemala (Cervecería Centroamericana S.A, ubicada en la finca el Zapote zona 2 de la ciudad de Guatemala). El análisis químico de las propiedades nutricionales se realizará en el Centro de Estudio en Ciencia y Tecnología de Alimentos (CECTA) en la Universidad del Valle de Guatemala (UVG) y en el Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP).

- Clima: el afrecho húmedo en climas cálidos, dura de 2 a 3 días máximo. En climas templados su durabilidad aumenta hasta 6 días. El afrecho seco puede almacenarse por varios meses.

3.3. Recursos humanos disponibles

Para poder llevar a cabo este trabajo de investigación, fue necesario el apoyo financiero de Cervecería Centroamericana S.A., la Universidad del Valle de Guatemala para llevar a cabo los análisis químicos.

- Investigador: María Reneé Ramírez Morales
- Asesor en UVG: Dr. Ricardo Bressani Castignoli
- Asesora en USAC: Inga. Qca. Hilda Palma de Martini
- Asesora Cervecería Centroamericana S.A.: Inga. Claudia Ronquillo Blau

3.4. Recursos materiales disponibles (equipo, cristalería, reactivos)

El presente proyecto de investigación, se llevará a cabo en las instalaciones de la Universidad del Valle de Guatemala, en el Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, por lo que se cuenta con el equipo allí disponible; además se hará uso de las siguientes materias primas; reactivos, cristalería y equipos; con el propósito de cumplir con los objetivos.

3.4.1. Humedad: método MEBAK

El contenido en agua de un alimento se define, convencionalmente, como la pérdida de masa que experimenta en condiciones determinadas. Todos los alimentos contienen agua en mayor o menor proporción.

- Equipo
 - Balanza digital
 - Horno a 60 y 105 grados Celsius
 - Desecador con sílica gel
 - Molino de discos
- Cristalería
 - 2 cajas de aluminio
 - 2 embudo metálico

3.4.2. Extracto soluble, total y digerible: método MEBAK

Es la sustancia que en forma concentrada se extraerá de otra, de la cual conservará sus propiedades esenciales y constitutivas. El método para la determinación del extracto consiste en una digestión enzimática.

- Equipo
 - Macerador universal
 - Filtros
 - Balanza digital
- Cristalería
 - 1 probeta graduada (250 mililitros)
 - 1 piseta plástica (500 mililitros)
 - 1 erlenmeyer (500 mililitros)
 - 1 balón aforado de 100 mililitros
- Reactivos
 - Termamyl 120 litros
 - SAN súper 240 litros
 - Solución de cloruro de calcio:
 - Pesar 2,2 gramos de cloruro de calcio deshidratado

- Disolver con agua destilada dentro de un balón aforado de 100 mililitros
- Aforar con agua destilada

3.4.3. Fibra dietética: método AOAC 985.29

Este método puede medir casi completamente los polisacáridos no-almidón, la lignina, almidón resistente y residuos no específicos. El método de referencia de la AOAC es el método enzimático-gravimétrico de Prosky y col. (1985) y sus modificaciones.

- Equipo
 - Balanza analítica
 - Baños termorregulados: (a) a ebullición y (b) ajustable a 60 grado Celsius con agitación directa en el interior de cada matraz de digestión
 - Bomba de vacío
 - Desecador con silicagel
 - Homogenizador
 - Estufa de vacío a 70 grado Celsius
 - Mufla a 525 grado Celsius
 - Tamiz de 0,3 - 0,5 milímetros
- Cristalería
 - Vidrio de reloj
 - Vasos de precipitados altos de 400 a 600 mililitros.
 - 3 balones aforados (1 000 mililitros)
 - Crisol con placa porosa
 - 3 Erlenmeyers
- Reactivos

- Etanol 95 por ciento
- Acetona
- Total Dietary Fiber Assay Kit marca Sigma.
- Etanol al 78 por ciento
 - Mezclar un volumen de agua con 4 volúmenes de etanol (95 por ciento)
- Tampón fosfato 0,08 M, pH 6,0:
 - Disolver 1,4 g de fosfato dibásico de sodio anhidro (Na_2HPO_4) (o 1,753 g dihidratado) y 9,68 g de fosfato monobásico de sodio monohidratado (NaH_2PO_4) (o 10,94 g dihidratado) en alrededor de 700 mililitros de agua. Diluir a 1 litro con agua. Medir el potencial de Hidrógeno con pHmetro.
- Hidróxido de sodio 0,275 Normal
 - Disolver 11,00 gramos de NaOH en 700 mililitros de agua en un matraz volumétrico de 1 litro. Diluir a volumen con agua.
- Ácido clorhídrico 0,325 Normal
 - Diluir una solución stock de HCl de título conocido, por ejemplo, 325 mililitros de HCl 1 normal a 1 litro con agua.

3.4.4. Fibra cruda: método AOAC 962.09

El análisis de la fibra cruda en el laboratorio involucra secar en exceso la fibra para ser analizada luego de ser expuesta a una serie de soluciones de ácido sulfúrico e hidróxido de sodio. Lo que queda es la fibra cruda: una mezcla de fibras insolubles que no tienen valor nutricional.

- Equipos
 - Desecador
 - Horno 103 ± 2 grados Celsius o mufla
 - Bomba de vacío
 - Condensador de fibra cruda Lab-conco
 - Balanza analítica
- Cristalería
 - Matraz de bola fondo plano, 600 mililitros, cuello esmerilado.
 - Unidad de condensación para el matraz.
 - Matraz kitazato
 - Embudo buchner
 - Crisol de filtración
 - Conos de hule
 - Papel filtro
 - Piseta
- Reactivos
 - Ácido sulfúrico 0,255 normal
 - Hidróxido de sodio 0,313 normal
 - Alcohol etílico al 95 por ciento
 - Ácido clorhídrico al 1 por ciento

3.4.5. Fibra neutro detergente

Este método es útil para la determinación de fibras vegetales en alimentos. Tiene la capacidad de separar los componentes nutricionales solubles de aquellos que no son totalmente aprovechables o que dependen de la fermentación biológica para su aprovechamiento.

- Equipo
 - Horno de secado 100 ± 5 grados Celsius
 - Desecador
 - Condensador de fibra cruda Lab-conco
 - Mufla 500 – 550 grados Celsius
- Cristalería
 - Vasos de precipitación
 - Vasos de berzelius 600 mililitros
 - Probeta 1 000 mililitros
 - Crisoles Gooch
 - Kitasato
- Reactivos
 - Solución detergente neutra.
 - Poner 18,61 gramos de etilendiamino tetra acetato disódico dihidrogenado deshidratado (EDTA) y 6,81 g de borato de sodio decahidrato en un vaso de precipitado.
 - Añadir un poco de agua y calentar hasta completa disolución, adicionar 30 gramos de sulfato lauril sódico USP y 10 mililitros de 2- etoxietanol.
 - Aparte disolver 4,56 gramos de fosfato ácido disódico anhidro en agua y calentar hasta disolución.
 - Mezclar esta solución con la anterior, agítese hasta disolver y llevar a volumen de 1 000 mililitros.
 - Decahidronaftaleno
 - Acetona grado reactivo
 - Sulfito de sodio anhídrido

3.4.6. Fibra ácido detergente

Este método permite tener una aproximación del grado de digestibilidad de las fibras en el alimento. La muestra es digerida por medio de cetil-trimetil-amonio en ácido sulfúrico y el residuo es considerado como la fibra no digerible.

- Equipo
 - Horno de secado 100 ± 5 grados Celsius
 - Condensador de fibra cruda Lab-conco
 - Desecador
- Cristalería
 - Vaso de precipitado 100 mililitros
 - Kitasato
 - Crisoles de Gooch
 - Vasos de Berzelius
- Reactivos
 - Decahidronaftaleno
 - Acetona
 - Hexano
 - Solución de ácido sulfúrico 1 normal
 - Solución detergente ácido
 - Añadir 20 gramos de bromuro de cetil metil amonio (CTAB) a 1 000 mililitros ácido sulfúrico 1 Normal.

3.4.7. Proteínas: método de Kjeldah: AOAC 954.01

Su análisis se efectúa mediante el método de Kjeldahl, mismo que evalúa el contenido de nitrógeno total en la muestra, después de ser digerida con ácido sulfúrico en presencia de un catalizador de mercurio o selenio

- Equipo
 - Unidad de digestión Kjeldahl. Büchi
 - Unidad de extracción y neutralización de vapores
 - Unidad de destilación Büchi
- Cristalería
 - 1 erlenmeyer 250 mililitros
 - 1 erlenmeyer 100-150 mililitros
 - 1 nureta de vidrio
 - Tubo de Kjeldahl
- Reactivos
 - Ácido sulfúrico (95-97 por ciento)
 - Indicador rojo de metilo 1 por ciento
 - Ácido bórico 4 por ciento
 - Sosa caustica 36 por ciento
 - Hidróxido de sodio 0,1 normal
 - Ácido clorhídrico 0,1 normal
 - Tabletas de Kjeldahl de MERK

3.4.8. Grasa cruda: método AOAC 920.39

En este método, las grasas de la muestra son extraídas con éter de petróleo y evaluadas como porcentaje del peso, después de evaporar el solvente, obteniéndose una muestra desengrasada y seca.

- Equipo
 - Equipo de extracción (Solvent Extractor VELP Scientifica, SER-148)
 - Balanza analítica
 - Estufa de aire 103 ± 2 grados Celsius

- Cristalería
 - Vasos recolectores (VELP Científica, SER-148)
 - Dedal
- Reactivos
 - n-hexano

3.4.9. Cenizas en harinas: método AOAC 923.03

El método se emplea para determinar el contenido de ceniza en los alimentos o sus ingredientes mediante la calcinación. Se considera como el contenido de minerales totales o material inorgánico en la muestra.

- Equipo
 - Desecador
 - Balanza analítica
- Cristalería
 - Crisoles de porcelana
 - Mufla

3.4.10. Índice de eficiencia proteica (método AOAC 960.48) y digestibilidad verdadera

Los métodos evalúan el valor nutricional de las proteínas basados en cambios de peso corporal de los animales de experimentación, en este caso ratas de 20 días de nacidas, por 4 semanas.

- Equipo
 - Balanza analítica
 - Horno 60 grados Celsius

3.4.11. Capacidad de retención del agua y capacidad de hinchamiento

Ambos métodos expresan la cantidad de agua que puede ser retenida por una muestra de materia seca de peso conocido y la capacidad del producto de aumentar su volumen en presencia de un exceso de agua.

- Equipo
 - Centrifuga 300 rpm
 - Balanza analítica
- Cristalería
 - Probetas de 10 mililitros

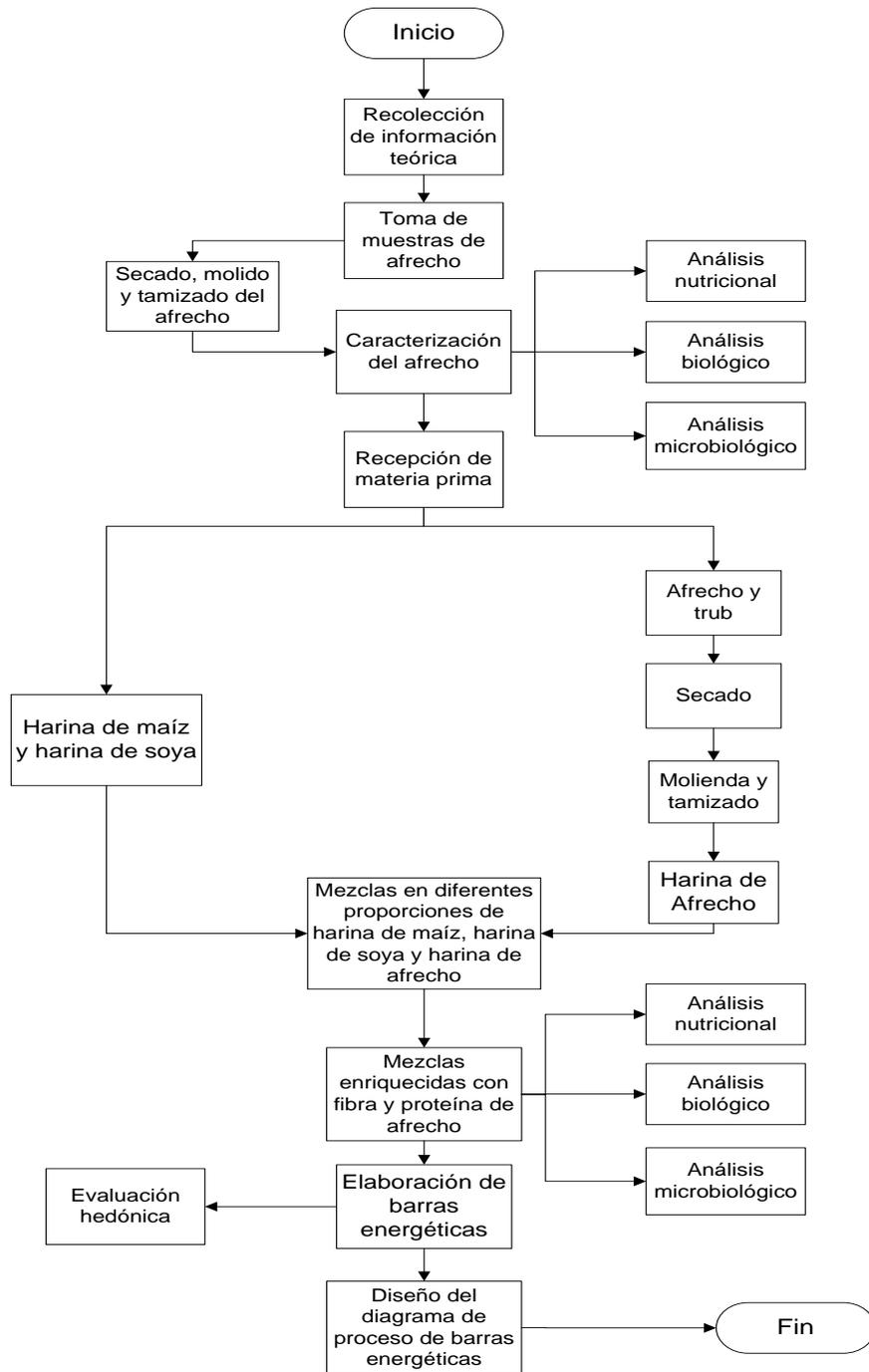
3.5. Técnica cuantitativa

La harina enriquecida con afrecho, se obtuvo por el método convencional para obtener harinas, que es deshidratar la materia prima para luego moler y tamizar hasta una granulometría requerida, para ser empleada en la industria alimentaria.

3.5.1. Diseño general

El proceso de elaboración se realizó mezclando la harina enriquecida con otros aditivos para crear la consistencia necesaria para hacer una masa firme y manipulable. La receta consistió en mezclar la harina enriquecida con azúcar, sal, manteca vegetal y distintos sabores artificiales para luego hornearlo y así obtener una barra nutritiva y crujiente.

Figura 8. Diagrama de flujo del proceso



Fuente: elaboración propia en Microsoft Office Visio 2007.

3.5.2. Caracterización del afrecho de cebada

Es necesario determinar el contenido nutricional del afrecho mediante un análisis proximal del contenido de fibra dietética, proteínas, azúcares, cenizas y aminoácidos, para determinar la composición química y poder complementar el aporte nutricional de la harina de maíz y soya.

3.5.3. Preparación de la materia prima para la elaboración de las barras energéticas

Para obtener la mezcla enriquecida es necesario secar el afrecho en un secador de bandejas de flujo transversal, con el propósito de deshidratar el afrecho, evitar posibles contaminaciones, reducir la fermentación y facilitar la reducción de tamaño en un molino para posteriormente tamizar.

3.5.4. Preparación de la mezcla enriquecida

La mezcla de harina de maíz, soya y afrecho enriquecida, se lleva a cabo adicionando en diferentes proporciones los componentes de la mezcla, para luego determinar la mezcla que aporta un mayor contenido nutricional y que da la consistencia, textura, sabor y color necesario para las barras energéticas.

3.5.5. Análisis de las propiedades nutricionales, fisicoquímicas y biológicas de las mezclas

La mezcla enriquecida en las diferentes proporciones de harina de maíz, soya y afrecho de cebada, será analizada en el Centro de Estudios en Ciencias y Tecnología de los Alimentos de la Universidad del Valle de Guatemala bajo la dirección del Dr. Ricardo Bressani. Se determinará en la mezcla el contenido

nutricional mediante un análisis proximal del contenido de fibra dietética, proteínas, azúcares, cenizas, aminoácidos, entre otros. También se evalúan las propiedades biológicas mediante experimentación en ratas en el Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP).

3.5.6. Elaboración de barras energéticas

Para la elaboración de las barras energéticas, se requiere la incorporación de otros aditivos alimenticios para obtener la consistencia necesaria, mejorar el sabor y apariencia de las mismas. La receta consiste en una mezcla líquida compuesta de aceite vegetal, azúcar, agua y miel, y una mezcla sólida del afrecho, harina de soya, harina de maíz y pasa; para luego ser amasado, compresionado, secado y cortado del tamaño y forma deseado.

3.5.7. Evaluación hedónica

Las diferentes mezclas con las diferentes proporciones de harina de maíz, soya y afrecho serán sometidas a una evaluación sensorial mediante una escala hedónica; una muestra significativa de personas será sometida a una encuesta para conocer su opinión respecto a las propiedades organolépticas y presentación de las barras energéticas.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

Para la elaboración de las barras energéticas, es necesario tener información sobre la materia prima a utilizar, las variaciones en su composición química, contenido nutricional y procesamiento, lo cual permite obtener una mezcla enriquecida con el mayor contenido nutricional y de mayor aceptación. Para ello se toma una muestra de afrecho en duplicado para el primer y último

cocimiento del proceso de elaboración de cerveza, luego se secan en un secador de bandejas en un período de tiempo de 12 a 24 horas, la muestra seca y molida se utiliza para realizar el análisis proximal y determinar la composición química, microbiológica, física y biológica.

Tabla IX. **Datos nutricionales del afrecho de cebada**

Propiedades	A	B	C
Humedad afrecho (por ciento)	X_1	Y_1	W_1
Humedad harina (por ciento)	X_2	Y_2	W_2
Fibra dietética (por ciento)	X_3	Y_3	W_3
Fibra cruda (por ciento)	X_4	Y_4	W_4
Fibra neutro detergente (por ciento)	X_5	Y_5	W_5
Fibra ácido detergente (por ciento)	X_6	Y_6	W_6
Cenizas (por ciento)	X_7	Y_7	W_7
Proteínas (por ciento)	X_8	Y_8	W_8
Grasas (por ciento)	X_9	Y_9	W_9
Carbohidratos asimilables (por ciento)	X_{10}	Y_{10}	W_{10}
Carbohidratos totales (por ciento)	X_{11}	Y_{11}	W_{11}

Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), elaboración propia.

Establecida la composición química y nutricional del afrecho de cebada, es posible determinar los cambios producidos por el tratamiento del afrecho durante el proceso. Con estos datos se realizan 5 mezclas con diferentes proporciones de afrecho para la mezcla de 70 por ciento de harina de maíz y 30 por ciento de harina de soya y se evalúa su contenido nutricional. Se adicionan cantidades de 0 a 25 por ciento con el propósito de identificar la

mezcla que contenga el mayor contenido de proteínas y fibra y que sea agradable al gusto.

Tabla X. **Mezclas de harina de maíz, de soya y afrecho**

Mezcla No.	Harina de maíz (70 por ciento)	Harina de soya (30 por ciento)	Afrecho (por ciento)
A	70	30	0
B	66.5	28.5	5
C	63	27	10
D	59.5	25.5	15
E	52.5	22.5	25

Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), elaboración propia.

A cada una de las mezclas, se le realizará un estudio, incluyendo los aspectos químicos, físicos y sensoriales para determinar los contenidos de fibra alimentaria y fibra cruda, proteínas y grasas.

Tabla XI. **Datos nutricionales de las mezclas enriquecidas**

Propiedades	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4	Mezcla 5
Humedad (por ciento)	X_1	Z_1	W_1	V_1	Y_1
Fibra dietética (por ciento)	X_2	Z_2	W_2	V_2	Y_2
Fibra cruda (por ciento)	X_3	Z_3	W_3	V_3	Y_3
Cenizas (por ciento)	X_6	Z_6	w_6	V_6	Y_6
Proteínas (por ciento)	X_7	Z_7	W_7	V_7	Y_7
Grasas (por ciento)	X_9	Y_9	W_9	Z_9	V_9
Carbohidratos asimilables (por ciento)	X_{10}	Y_{10}	W_{10}	Z_{10}	V_{10}
Carbohidratos totales (por ciento)	X_{11}	Y_{11}	W_{11}	Z_{11}	V_{11}

Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), elaboración propia.

Se evalúan las propiedades biológicas de cada mezcla con pruebas en ratas; tanto para la determinación del PER, NPR y digestibilidad, se utilizaran ratas albinas, recién destetadas, hembras y machos del Bioterio del INCAP. Para el cálculo de la digestibilidad se recolectan las heces de las ratas.

Tabla XII. **Dietas para análisis biológico**

DIETA	1	2	3	4	TOTAL
SOYA	594	594	594	594	2 376
MAIZ	1 836	1 836	1 836	1 836	7 344
ALMIDON	270	189	108	27	594
AFRECHO	0	81	162	243	486
VITAMINAS	30	30	30	30	120
MINERALES	120	120	120	120	480
ACEITES	150	150	150	150	600
TOTAL	3 000	3 000	3 000	3 000	

Fuente: Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP), elaboración propia.

Tabla XIII. **Datos biológicos de las mezclas enriquecidas**

Propiedades	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4	Mezcla 5
Índice de eficiencia proteica (PER)	X_1	Z_1	W_1	V_1	Y_1
Razón proteínica neta (NPR)	X_2	Z_2	W_2	V_2	Y_2
Digestibilidad verdadera (por ciento)	X_3	Z_3	W_3	V_3	Y_3

Fuente: Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP), elaboración propia.

A las 5 mezclas se les determina también las propiedades fisicoquímicas como potencial de hidrógeno, la capacidad de retención de agua y la capacidad de hinchamiento de la mezcla.

Tabla XIV. **Datos fisicoquímicos de las mezclas enriquecidas**

Propiedades	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4	Mezcla 5
pH	X ₁	Z ₁	W ₁	V ₁	Y ₁
Retención de agua (mililitros agua por gramo muestra)	X ₂	Z ₂	W ₂	V ₂	Y ₂
Capacidad de hinchamiento (mililitros por gramo)	X ₃	Z ₃	W ₃	V ₃	Y ₃

Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), elaboración propia.

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

La tabulación implica el ordenamiento de la información que al ser procesada, cuantificada y agrupada, permite la presentación en tablas, con las que se hacen y registran los cálculos, se construyen los gráficos y se obtiene la información que permitirá hacer el análisis.

La fase experimental se inicia con el análisis nutricional, fisicoquímico, microbiológico y biológico de la materia prima (afrecho con trub), luego se analizan las distintas mezclas mostradas en la tabla IX. Las muestras deben ser deshidratadas por un período no mayor a 24 horas, luego deben ser molidas (mesh no. 35), tamizadas y etiquetadas para su posterior análisis.

3.7.1. Humedad: método MEBAK

La humedad se determina en una cantidad conocida de muestra, la cual es expuesta a una temperatura en el horno para eliminar el agua contenida en la harina y luego es pesada en una balanza.

- Preparación de la muestra y molienda
 - En cajillas de papel kraft, dispersar el afrecho húmedo con un grosor aproximado de 0,5 centímetros.
 - Colocar las cajillas con el afrecho en el horno de 60 grados Celsius.
 - Sacar la muestra luego de 12-15 horas.
 - Limpiar el molino con aire y graduarlo en molienda fina.
 - Moler el afrecho y guardarlo en botes debidamente identificados.
 - Limpiar el molino con aire.
 - Humedad en el afrecho molido
 - Secar dos cajillas de aluminio en el horno hasta llegar a peso.
 - Tarar dos cajillas de aluminio con sus tapaderas. (B)
 - Pesar 5 gramos de afrecho molido y seco en cada una. (A)
 - Anotar el peso conjunto de las cajillas cerradas con afrecho.
 - Secar en el horno a 105 - 107 grados Celsius durante 3 horas, con las cajillas destapadas.
 - Dejarlas enfriar en el desecador, durante 20 minutos.
 - Pesar nuevamente las cajillas con el afrecho (C) y determinar el contenido fino de agua (W_2).

- Humedad en el afrecho antes de ser molido
 - Secar 2 cajillas de aluminio en el horno.
 - Tarar 2 cajillas de aluminio con sus tapaderas. (B)
 - Pesar aproximadamente 10 gramos de afrecho húmedo en cada cajilla. (A)
 - Dispersar la muestra por toda la cajilla y cerrar las cajillas.
 - Anotar el peso conjunto de las cajillas cerradas con afrecho. (C)
 - Secarlo en el horno a 60 grados Celsius durante 2 horas, con las cajillas destapadas y determinar el contenido grueso de agua (W_1).

3.7.2. Extracto soluble, total y digerible: método MEBAK

El extracto se determina por medio de la digestión enzimática de la muestra de harina y por medio de la cocción de la misma para luego por diferencia de pesos determinar el extracto soluble, digerible y total.

- Extracto soluble
 - Moler el afrecho húmedo o seco (molienda fina).
 - Tarar un vaso de maceración.
 - Agregar 25 gramos de afrecho molido en una copa de maceración.
 - Añadir 250 mililitros de agua a 70 grados Celsius y macerar durante 1 hora.
 - Llevar a peso de 300 gramos.
 - Filtrar, regresando los primeros 100 mililitros del filtrado.
 - Determinar el extracto del filtrado en el Anton Paar.

- Extracto digerible
 - Macerar 25 gramos de afrecho seco y 350 mililitros de agua en una copa tarada de maceración.
 - Adicionar 0,1 mililitros de termamyl y 10 mililitros de CaCl_2 y mezclar.
 - Calentar la mezcla sin dejar de remover durante 10-15 minutos hasta lograr la cocción en la estufa.
 - Cocer ligeramente durante 15 minutos (agitar). Enfriar a 45 grados Celsius.
 - Adicionar 0,1 mililitros de termamyl y 0,3 mililitros de SAN, mezclar.
 - Realizar el proceso de maceración (sin añadir agua).
 - Enfriar, pesar a 400 gramos y determinar el extracto en el filtrado.

- Prueba en blanco: para corregir el cálculo
 - Pesar 0,2 mililitros de solución de termamyl y 0,3 mililitros de solución SAN.
 - Medir 10 mililitros de solución de cloruro de calcio con agua a 400 gramos.
 - Determinar el extracto.

3.7.3. Fibra dietética total: método AOAC 985.29

Los métodos gravimétricos se basan en pesar el residuo que queda después de una solubilización enzimática o química de los componentes que no son fibra y aísla la fibra soluble y la insoluble para determinar la fibra dietética total.

- Aislamiento del residuo de fibra alimentaria
 - Pesar una cantidad de muestra (1 gramo) en un erlenmeyer de 500 mililitros.
 - Añadir 50 mililitros de tampón fosfato potencial de Hidrógeno 6, se mide el potencial de Hidrógeno en potenciometro.
 - Añadir 0,1 mililitros de α -amilasa, agitar y cubrir con papel de aluminio.
 - Introducir en un baño unitronic de agua a ebullición durante 30 minutos con agitación constante.
 - Dejar enfriar a temperatura ambiente. Añadir NaOH 0,275 M para ajustar el potencial de Hidrógeno a $7,5 \pm 0,1$.
 - Adicionar 5 miligramo de proteasa. Agitar y cubrir con papel aluminio.
 - Incubar a 60 grado Celsius 30 minutos con agitación constante.
 - Dejar enfriar a temperatura ambiente y añadir 10 mililitros de HCl 0,325 mola. Se mide el potencial de Hidrógeno, que debe oscilar entre $4,5 \pm 0.2$.
 - Añadir 0,1 mililitros de amiloglucosidasa, agitar, cubrir con papel aluminio e incubar de nuevo a 60 grado Celsius, 30 minutos con agitación.

- Determinación de fibra insoluble (FI)
 - El líquido se filtra sobre un crisol de placa filtrante (porosidad no. 2), con 0,5 gramos de celite incinerada previamente.
 - Antes de la filtración se añade agua destilada al crisol y se aplica vacío para humedecer y redistribuir la capa de celite.

- Lavar el residuo con 2 porciones de 10 mililitros de agua destilada.

Nota: el líquido filtrado y los lavados de agua se reservan para la determinación de la fibra soluble.

- El residuo se lava con 2 porciones de 10 mililitros de etanol al 95-96 por ciento y con otras 2 de 10 mililitros de acetona.
 - Los crisoles se secan en estufa a 105 grado Celsius durante toda la noche. Enfriar en el desecador y pesar.
- Determinación de fibra soluble (FS)
 - Los líquidos de filtrado se trasvasan a un erlenmeyer de 500 mililitros y añadir una cantidad de etanol al 95-96 por ciento, previamente calentado, igual a 4 veces el volumen del filtrado.
 - Deja en reposo durante toda la noche.
 - Los líquidos obtenidos se filtran en un crisol (porosidad no. 2) con celite (0,5 gramos) previamente pesado e incinerado.
 - Antes de la filtración se redistribuye la capa de celite con etanol al 78 por ciento, aplicando vacío para secarla y homogeneizarla.
 - El residuo obtenido tras la filtración se lava con tres porciones de 20 mililitros de etanol al 78 por ciento, dos porciones de 10 mililitros de etanol al 95 por ciento y dos de 10 mililitros de acetona.
 - El crisol se deseca en estufa a 105 grado Celsius durante toda la noche, se enfría en desecador y se pesa.

En los residuos; insoluble y soluble, se determinan proteínas por el método Kjeldah y cenizas en mufla 1 100 a 550 grado Celsius.

3.7.4. Fibra cruda: método AOAC 962.09

Se basa en el tratamiento secuencial con ácidos y álcalis en condiciones estandarizadas. Con este método se subvalora en forma importante el contenido de fibra dietética ya que se disuelve gran parte de la hemicelulosa y lignina, cantidades variables de celulosa y toda la fibra soluble.

- Procedimiento
 - Pesar 1,0 gramo de la muestra desengrasada y seca.
 - Colocar en un vaso Berzelius y adicionar 200 mililitros de la solución de ácido sulfúrico al 1,25 por ciento.
 - Colocar en el extractor de fibra cruda, activando la perilla de calentamiento y abriendo la llave de agua de enfriamiento. Dejar hervir durante 30 minutos.
 - Instalar el embudo Buchner con el papel filtro, filtre la solución caliente. Lavar con agua hirviendo varias veces con porciones de 50 mililitros cada vez, hasta que el agua de lavado no tenga reacción ácida.
 - Regresar el residuo con mucho cuidado a su vaso original, conteniendo 200 mililitros de NaOH al 1,25 por ciento. Colocar en el extractor de fibra cruda, activando la perilla de calentamiento y abriendo la llave de agua de enfriamiento. Dejar hervir durante 30 minutos.

- Filtrar y lavar el residuo con agua hirviendo, hasta la eliminación del hidróxido de sodio en el filtrado, y lavar con porciones de alcohol.
- Colocar el residuo en un crisol Gooch y transferir al horno a 105 grados Celsius por 12 horas y enfríe en el desecador.
- Pesar los crisoles con el residuo y colocar en la mufla a 550 grados Celsius por 3 horas, dejarlos enfriar en un desecador y pesarlos nuevamente.

3.7.5. Fibra neutro detergente

Este procedimiento envuelve la extracción del alimento con una solución caliente de laurilsulfato de sodio y la subsecuente determinación gravimétrica del residuo. Este método da una buena estimación de la fibra insoluble (celulosa, hemicelulosa y lignina) y ha sido usado ampliamente para evaluar los alimentos de consumo humano.

- Procedimiento
 - Pesar aproximadamente 1 gramo de muestra molida para pasar el tamiz de 1 milímetro y deposítela en un matraz de fondo redondo para iniciar el reflujo.
 - Agregar 100 mililitros de detergente neutro a temperatura ambiente, 2 mililitros de decahidronaftaleno por muestra y 0,5 gramos de sulfito de sodio.
 - Calentar para que la solución hierva en 5 a 10 minutos; en el momento de iniciar la ebullición reduzca la temperatura para evitar la formación de espuma. Ajustar la temperatura para que la solución hierva suavemente y mantenga en reflujo por 60 minutos.

- Agitar el matraz para suspender y decante la muestra en un crisol previamente pesado. Pasar toda la muestra al crisol utilizando agua caliente (80 grados Celsius) para el lavado del matraz. Finalmente lavar 2 veces con acetona sin remover la muestra del filtro y secar con vacío.
- Secar los crisoles a 100 grados Celsius durante 8 horas, enfriar y pesar. (B)
- Calcinar por 3 horas en una mufla de 500 – 550 grados Celsius, enfriar y pesar. (A)

3.7.6. Fibra ácido detergente

Este método consiste en someter la muestra a ebullición con bromuro de cetiltrimetilamonio en medio ácido y subsecuente filtración y lavado del residuo. Este método da una buena estimación de celulosa y lignina. En el residuo se puede analizar la celulosa o lignina.

- Procedimiento
 - Pesar un gramo de la muestra seca y colóquela en un matraz erlenmayer de 500 mililitros.
 - Adicionar 100 mililitros de la solución de detergente ácido y 2 mililitros decahidronaftaleno.
 - Llevar rápidamente a ebullición (3 a 5 minutos) y continúe el calentamiento por 60 minutos.
 - Filtrar el contenido del matraz por vacío en un crisol previamente pesado.
 - Lavar 2 veces el matraz con agua destilada caliente y filtrar.

- Lavar el residuo con acetona hasta que no haya extracción de color. Si se desea se puede lavar con hexano.
- Colocar el crisol en el horno a 100 grados Celsius durante 8 horas.
- Enfriar dentro de un desecador la muestra e inmediatamente después determine el peso.

3.7.7. Proteínas: método de Kjeldah AOAC 954.01

Se caracteriza por el uso de ebullición, ácido sulfúrico concentrado que efectúa la destrucción oxidativa de la materia orgánica de la muestra, y la reducción del nitrógeno orgánico a amoníaco el amonio es retenido, como bisulfato de amonio y puede ser determinado *in situ* o por destilación alcalina y titulación.

- Digestión
 - Pesar de 0,25 gramos de muestra e introducir en un tubo de Kjeldahl.
 - Agregar media tableta de Kjeldahl y 6 mililitros de ácido sulfúrico al 95-97 por ciento.
 - Encender el aparato y precalentar a la temperatura de 360 grados Celsius.
 - Colocar los tubos en el portatubos del equipo Kjeldahl y colocarlo en el bloque de calentamiento.
 - Ajustar la unidad de evacuación de gases con las juntas colocadas sobre los tubos de digestión.
 - Accionar la trampa de succión de gases antes.

- Calentar hasta total destrucción de la materia orgánica, es decir hasta que el líquido quede transparente, con una coloración azul verdosa o amarilla.
- Una vez finalizada la digestión, sin retirar la unidad de evacuación de gases, colgar el portatubos para enfriar.
- Terminada la digestión, esperar a que se enfríen los tubos y apagar las hornillas y desconectar el extractor de vapores.

- Destilación
 - En un matraz Erlenmeyer de 250 mililitros adicionar 10 mililitros de ácido bórico 4 por ciento con indicador rojo de metilo.
 - Conectar el equipo de destilación y esperar a que genere vapor.
 - Colocar el tubo de digestión con la muestra diluida y las sales disueltas en un volumen de 250 mililitros de agua destilada, en el aparato de destilación.
 - Adicionar 20 mililitros hidróxido de sodio 10 normal.
 - Esperar hasta alcanzar un volumen de destilado en el matraz Erlenmeyer de 100-150 mililitros.
 - Lavar la alargadera con agua destilada y recoger el agua de lavado sobre el destilado.

- Valoración
 - Titular el exceso de ácido bórico, con una solución de HCl 0,107 normal hasta el punto de equivalencia del indicador rojo de metilo, viraje de color de amarillo a rosado.
 - Calcular el por ciento de proteína considerando las reacciones que se llevan a cabo.

3.7.8. Grasa cruda: método AOAC 920.39

Una cantidad previamente homogeneizada y seca, medida o pesada del alimento se somete a una extracción con éter de petróleo o éter etílico, libre de peróxidos o mezcla de ambos. Posteriormente, se realiza la extracción total de la materia grasa libre por *soxhlet*.

- Procedimiento
 - Pesar 6 gramos de cada muestra.
 - Colocar las muestras en un dedal y este a la vez dentro de un vaso recolector.
 - Colocar los dedales en el equipo (Velp científica), previamente puestos a peso constante con 60mililitros de hexano, por 155 minutos a 120 grados Celsius.
 - Después de este tiempo colocar los vasos recolectores en una estufa por 25 minutos.

3.7.9. Cenizas en harinas: método AOAC 923.03

La determinación de cenizas, es referida como el análisis de residuos inorgánicos que quedan después de la ignición u oxidación completa de la materia orgánica de un alimento.

- Procedimiento
 - En un crisol de porcelana que previamente se calcinó y se llevó a peso constante, colocar de 2,0 gramos de muestra seca.

- Colocar el crisol en una mufla y calcinar a 550 grados Celsius por 12-24 horas, dejar enfriar y pasarlo a un desecador.
- Pesar nuevamente el crisol conteniendo la ceniza.

3.7.10. Carbohidratos

Este método determina la cantidad de carbohidratos totales, basándose en su contenido de almidones hidrolizables y azúcares solubles presentes en los alimentos.

- Carbohidratos asimilables y totales

Se calcula en base a la diferencia entre el contenido de proteínas, humedad, grasas, cenizas y fibra cruda.

3.7.11. Capacidad de retención de agua

El método se basa en la determinación de la cantidad de agua retenida en una muestra seca y que afecta considerablemente a la fibra en los alimentos y principalmente a los productos de panificación.

- Procedimiento
 - Pesar los tubos graduados de plástico.
 - Adicionar 25 mililitros de agua destilada a 2 gramos de muestra (base seca).
 - Agitar 10 minutos con vibración magnética, posteriormente centrifugar a 3 000 rpm por 10 minutos.
 - Pesar los earlenmeyer antes de agregar el residuo líquido.

- Separar el sobrenadante en los earlenmeyer y secar en horno a 100 grados Celsius hasta evaporar en su totalidad el agua y pesar.
- Pesar los tubos graduados y secar el residuo sólido en el horno.
- Después del tiempo de secado pesar los tubos con los sólidos secos.
- La capacidad de retención de agua se expresó como los g de agua absorbidos por g de producto.

3.7.12. Capacidad de hinchamiento

El método determina el aumento en volumen de una muestra de harina seca en presencia de agua, lo cual afecta la constitución y humedad de las barras de cereal.

- Procedimiento
 - Colocar 0,5 gramos del producto en una probeta graduada de 10 mililitros,
 - Medir el volumen (V_0) ocupado por el producto.
 - Adicionar un exceso de agua (5 mililitros) y se agitar.
 - Dejar reposar durante 24 horas y medir el volumen final (V_f).

3.7.13. Potencial de Hidrógeno: método AOAC 981.12

Los alimentos se clasifican como ácidos o alcalinos de acuerdo al efecto que tienen en el organismo humano después de la digestión y no de acuerdo al pH que tienen en sí mismos.

- Procedimiento
 - Pesar 10,0 gramos de muestra en un Erlenmeyer, limpio y seco, de 250 mililitros; agregar 100 mililitros de agua destilada (recientemente hervida) a 25 grados Celsius.
 - Agitar el contenido del recipiente hasta que las partículas estén totalmente suspendidas y la mezcla libre de grumos.
 - Dejar en contacto 30 minutos, agitando y 10 minutos más en reposo.
 - Decantar el sobrenadante en un vaso de precipitados de 150 mililitros y determinar inmediatamente el potencial de Hidrógeno (a 25 grados Celsius) usando un electrodo y potenciómetro estandarizado con soluciones buffer de potencial de Hidrógeno = 4,00 y 7,00.

3.7.14. Análisis biológicos

Los análisis biológicos consisten en la determinación de la capacidad de las proteínas de ser asimiladas por el organismo, para lo cual se hace la evaluación en ratas que tiene un metabolismo similar al del hombre.

- Procedimiento
 - Se utilizan ratas de la raza Wistar, machos y hembras recién destetadas, de 21-23 días.
 - Las ratas son distribuidas en grupos de 8 (mitad machos y mitad hembras), de manera que los pesos promedio de los grupos no difieran de más de 1 gramo.

- Las ratas son colocadas en jaulas individuales con fondos levantados de metal, en un cuarto con aire acondicionado mantenido a 24-25 grados Celsius. Se coloca papel debajo de las jaulas para recolectar la comida regada, que tiene que ser recogida diariamente. El consumo de comida y la ganancia en peso de las ratas son determinadas semanalmente por 28 días.

3.7.14.1. Índice de eficiencia proteica (PER): método AOAC 960.48 y razón proteínica neta

La razón proteica neta, toma en cuenta el nivel de ingestión de la proteína necesaria para la mantención, al incluir un grupo de ratas que recibe una dieta proteica durante cierto tiempo.

- Procedimiento
 - Determinar el peso inicial de las ratas.
 - Alimentar a las ratas por un período de 6 días con la mezcla de harinas.
 - Finalizado el tiempo de análisis, pesar nuevamente a las ratas y determinar el peso que ha ganado cada rata.

NOTA: la razón proteínica neta relativa (RNPR) es el NPR del material a prueba expresado en relación al NPR de la referencia estándar, caseína.

3.7.14.2. Digestibilidad verdadera

Para la determinación de la digestibilidad, se mide el nitrógeno ingerido y el de las fecas desecadas y molidas (por Kjeldahl) de cada rata durante el ensayo del índice de eficiencia proteica.

- Procedimiento
 - Durante la última semana del estudio del índice de eficiencia proteica, recolectar diariamente las heces de cada una de las ratas por un período mínimo de 6 días y se guardan en frascos individuales en un cuarto frío (± 5 grados Celsius).
 - Pesar las heces de las ratas.
 - Las heces individuales recolectadas son secadas en un horno a 60grados Celsius por un período de 16 horas pesadas y molidas.
 - Determinar el contenido de nitrógeno en las heces por el método químico (Método de Kjeldah AOAC 954.01) y fibra dietética por el método sigma.
 - La digestibilidad aparente se calcula midiendo la cantidad de nitrógeno ingerido en la dieta y la cantidad excretada en las heces.

NOTA: las ratas se deben mantener en jaulas individuales de acero inoxidable designadas para la recolección por separado de heces y orina. Las jaulas se sitúan en habitación ventilada con una temperatura de 24 grados Celsius y humedad relativa de 48 horas y se exponen a un período de 12 horas de luz seguidas de 12 horas de obscuridad.

3.8. Análisis estadístico

El análisis estadístico de los datos obtenidos para la harina de maíz y soya enriquecida con la fibra de afrecho de cebada, se llevó a cabo por medio de un análisis de varianza, el cual se utiliza para verificar si hay diferencias estadísticamente significativas entre medias cuando se tienen más de 2 muestras o grupos en el mismo planteamiento.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_a = 0$$

$$H_a: \mu_i \neq 0 \text{ al menos una } i$$

La técnica fundamental, consiste en la separación de la suma de cuadrados (SS) en componentes relativos a los factores contemplados en el modelo. En la prueba ANOVA, se reúne evidencia muestral de cada población bajo estudio y se usan estos datos para calcular un estadístico muestral. Después se consulta la distribución muestral apropiada para determinar si el estadístico muestral contradice la suposición de que la hipótesis nula es cierta.

3.8.1. Grados de libertad y valor crítico

Los grados de libertad, están dados por el número de valores que pueden ser asignados de forma arbitraria, antes de que el resto de las variables tomen un valor producto de establecerse las que son libres, esto, con el fin de compensar e igualar un resultado el cual se ha conocido previamente.

$$\frac{k - 1}{n - k}$$

Ecuación No. 1

Donde:

K = número de filas o tratamientos

n = número total de datos.

Se localiza este dato en la tabla F para encontrar el valor crítico según los grados de libertad del denominador y el numerador.

3.8.2. Cálculos para tabla ANOVA

El análisis de varianza lleva a la realización de pruebas de significación estadística, usando la denominada distribución F de Snedecor. Una vez que se han calculado las sumas de cuadrados, las medias cuadráticas, los grados de libertad y la F, se procede a elaborar una tabla que reúna la información, denominada tabla de análisis de varianza o ANOVA.

Tabla XV. Análisis de varianza

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado medio	F
Intergrupo o tratamiento	$SS_{Factores}$	$t - 1$	$T = \frac{SS_{Factores}}{t - 1}$	$F = \frac{T}{E}$
Intragrupo o error	SS_{Error}	$N - t$	$E = \frac{SS_{Error}}{N - 1}$	
Total	SS_{Total}	$N - 1$		

Fuente: Estadística descriptiva. Santiago Fernández Fernández. Editorial ESIC. 2002. p 57.

Donde:

SS_{Factores} : es un número real relacionado con la varianza, que mide la variación debida al factor, tratamiento o tipo de situación estudiado.

$$SST = \frac{T_c^2}{n_c} - \frac{x^2}{n}$$

Ecuación No. 2

SS_{Total} : suma de cuadrados total

$$SS_{\text{Total}} = x^2 - \frac{x^2}{n}$$

Ecuación No. 3

SS_{Error} : es un número real relacionado con la varianza, que mide la variación dentro de cada factor, tratamiento o tipo de situación.

$$SSE = SS_{\text{Total}} - SST$$

Ecuación No. 4

Donde:

x = cada una de las observaciones

n = número total de observaciones

T_c = total de la columna de cada tratamiento

n_c = número de observaciones de cada tratamiento

3.8.2.1. Interpretación de ANOVA

El paso final en ANOVA, requiere el cálculo de un cociente con la estimación del método entre en el numerador y la estimación del método dentro del denominador. Si la hipótesis nula de que las poblaciones tienen la misma media es cierta, esta razón consiste en 2 estimaciones separadas de la misma varianza poblacional y, se puede obtener la distribución F si las medias poblacionales no son iguales. La estimación en el numerador estará inflada, y el resultado será un cociente muy grande. Al consultar la distribución F, no es probable que un cociente tan grande haya sido obtenido de esta distribución, y la hipótesis nula será rechazada.

La prueba de hipótesis en ANOVA, es de una cola, con un nivel de confianza del 95 por ciento, un estadístico F grande llevará al rechazo de la hipótesis nula y un valor pequeño hará que no se rechace.

Para comprobar la hipótesis, se utiliza Microsoft Excel, la opción análisis de datos para el análisis de varianza de un factor. Se obtienen los siguientes resultados para determinar si existe diferencia significativa entre la mezcla 1 con el resto de las mezclas:

Tabla XVI. **Análisis de varianza mezcla 1 y mezcla 2**

Análisis nutricional

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico para f
Entre grupos	11 226,09	7,00	1 603,73	6 515,89	3,50
Dentro de los grupos	1,97	8,00	0,25		
Total	11 228,06	15,00			

Continuación de la tabla XVI

Análisis de aceptabilidad

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probab.	Valor crítico para f
Entre grupos	12,45	9,00	1,38	0,38	0,92	3,02
Dentro de los grupos	36,50	10,00	3,65			
Total	48,95	19,00				

Fuente: ecuación no. 1 – 4. Tabla XV ANOVA. Anexos 4. Tabla LXXIII.

Tabla XVII. **Análisis de varianza entre la mezcla 1 y mezcla 3**

Análisis nutricional

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico para f
Entre grupos	11 004,72	7,00	1 572,10	1 497,00	3,50
Dentro de los grupos	8,40	8,00	1,05		
Total	11 013,12	15,00			

Análisis de aceptabilidad

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probab,	Valor crítico para f
Entre grupos	9,00	9,00	1,00	1,67	0,22	3,02
Dentro de los grupos	6,00	10,00	0,60			
Total	15,00	19,00				

Fuente: ecuación No. 1 – 4. Tabla XV ANOVA. Anexos 4. Tabla LXXIV.

Tabla XVIII. **Análisis de varianza entre la mezcla 1 y mezcla 4**

Análisis nutricional

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico para f
Entre grupos	10 856,16	7,00	1 550,88	634,56	3,50
Dentro de los grupos	19,55	8,00	2,44		
Total	10 875,71	15,00			

Análisis de aceptabilidad

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probab,	Valor crítico para f
Entre grupos	11,20	9,00	1,24	2,49	0,09	3,02
Dentro de los grupos	5,00	10,00	0,50			
Total	16,20	19,00				

Fuente: ecuación No. 1 – 4. Tabla XV ANOVA. Anexos 4. Tabla LXXV.

Tabla XIX. **Análisis de varianza entre la mezcla 1 y mezcla 5**

Análisis nutricional

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico para f
Entre grupos	10 515,06	7,00	1 502,15	109,28	3,50
Dentro de los grupos	109,96	8,00	13,75		
Total	10 625,03	15,00			

Continuación de la tabla XIX

Análisis de aceptabilidad

Origen de las variaciones	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Promedio de los cuadrados	F	Probab,	Valor crítico para f
Entre grupos	15,80	9,00	1,76	0,25	0,98	3,02
Dentro de los grupos	70,00	10,00	7,00			
Total	85,80	19,00				

Fuente: ecuación No. 1 – 4. Tabla XV ANOVA. Anexos 4. Tabla LXXVI.

Con el análisis estadístico, se rechaza la hipótesis nula y se aprueba la hipótesis alterna, al sí encontrarse diferencia significativa en los nutrientes que aporta la mezcla de harina de maíz y harina de soya y la mezcla enriquecida con fibra y proteína al adicionar diferentes cantidades de afrecho cervecero.

4. RESULTADOS

Con los datos obtenidos a continuación, se muestran las diferentes variables evaluadas para determinar la mezcla que presente, tanto una composición con propiedades nutricionales elevadas y que sea agradable al público.

- Determinar la composición química del afrecho cervecero, mediante el análisis proximal de la materia prima, según lo establecido por los métodos AOAC y EBC.

Tabla XX. **Composición química y nutricional del afrecho cervecero**

Propiedades nutricionales (por ciento)	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Humedad afrecho	72,52	71,12	72,07
Humedad harina	2,17	2,53	2,69
Extracto soluble	2,83	1,86	2,06
Extracto total	3,22	3,53	3,12
Extracto digerible	0,71	0,78	0,81
Proteína	25,77	27,96	26,74
Cenizas	3,13	2,53	2,51
Grasas	8,35	9,16	9,33
Fibra cruda	10,91	10,83	9,14
Fibra dietética	46,49	43,48	45,03
Fibra neutro detergente	47,96	46,73	48,09

Continuación de la tabla XX.

Fibra ácido detergente	24,21	21,36	23,18
Carbohidratos asimilables	53,12	46,98	49,60
Carbohidratos totales	64,03	57,82	58,73

Fuente: anexos 4, datos calculados tablas XLVI - LV, ecuaciones No, 5 – 22, Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala (UVG).

Tabla XXI. **Composición química proximal de las harinas a utilizar en las mezclas**

Datos nutricionales de harina de maíz y harina de soya		
Propiedades nutricionales (por ciento)	Harina de maíz blanco	Harina de soya
Humedad	10,0	7,9
Grasa	4,3	19,9
Proteína	9,5	42,5
Cenizas	1,3	5,3
Carbohidratos	71,0	24,4
Fibra cruda	3,9	-
Fibra dietética insoluble	11,0	24,5
Fibra dietética soluble	1,4	1,4

Fuente: factor nutricional harina de maíz blanco y amarillo nixtamalizado (del COMAL), distribuida por Molinos Modernos S. A. Harina de Soya distribuida por Alimentos S. A. ecuaciones 5 – 22.

- Cuantificar el valor nutricional de 5 mezclas de harina de maíz y soya (78 y 22 por ciento, respectivamente), al adicionar afrecho en las proporciones de 0, 5, 10, 15 y 25 por ciento a partir de un análisis proximal de humedad, extracto, proteína, cenizas, grasas, carbohidratos, fibra cruda y fibra dietética, según lo establecido por los métodos AOAC.

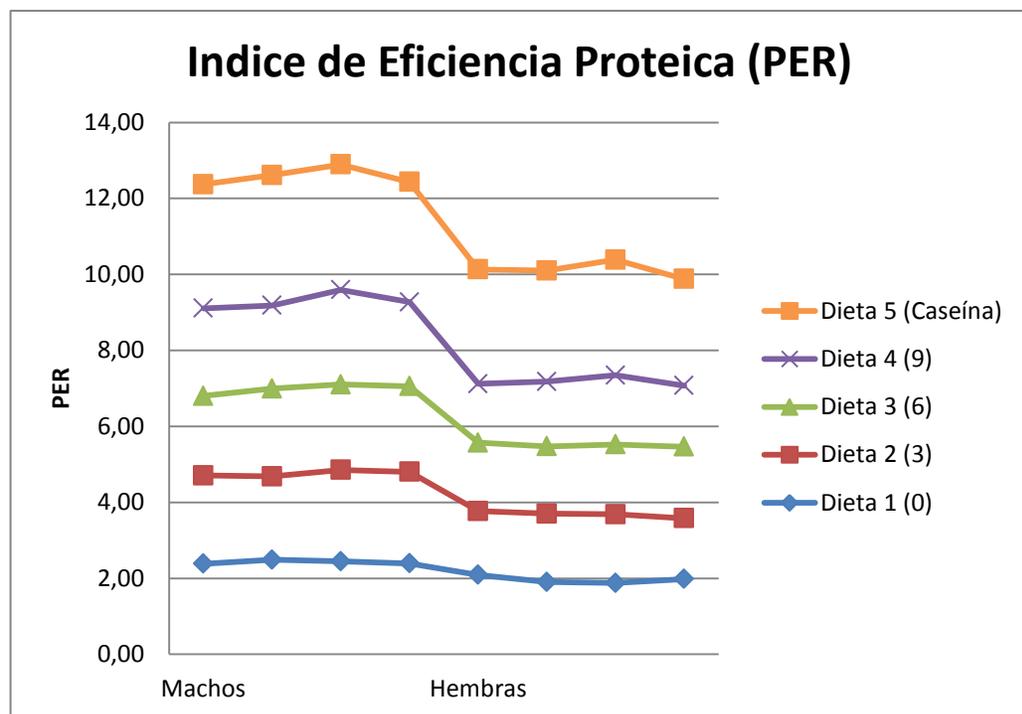
Tabla XXII. **Composición química y nutricional de las mezclas enriquecidas**

Datos Nutricionales de las Mezclas enriquecidas de Harina de maíz, Harina de soya y Harina de Afrecho (0, 5, 10, 15, 25 por ciento)					
Propiedades (por ciento)	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4	Mezcla 5
Humedad	7,92	7,99	7,93	7,69	7,39
Fibra dietética	10,30	10,89	12,72	14,86	23,84
Fibra cruda	1,27	1,68	2,07	2,25	2,32
Cenizas	3,07	2,90	2,88	2,79	2,61
Proteínas	16,85	17,42	17,97	18,54	19,41
Grasas	3,43	3,92	4,11	4,32	4,92
Carbohidratos asimilables	67,47	66,09	65,04	64,42	63,35
Carbohidratos totales	68,73	67,77	67,11	66,67	65,67

Fuente: anexos 4, datos calculados tablas LVII - LXII, ecuaciones 5 – 22, Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala (UVG).

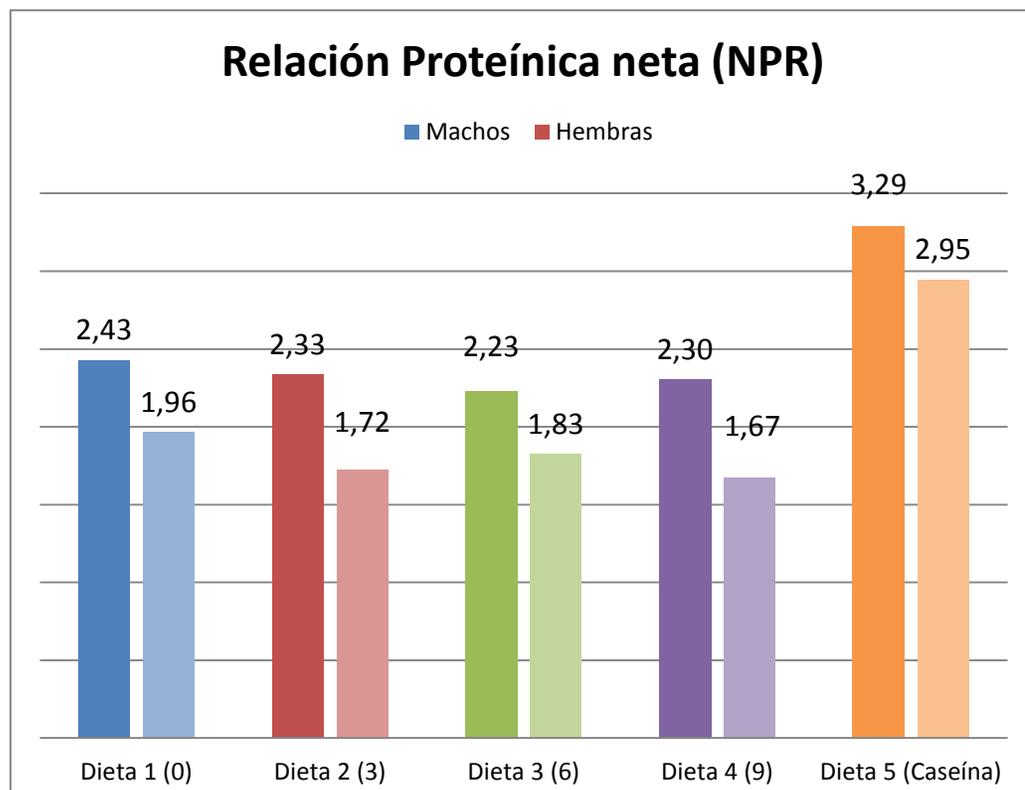
- Realizar una evaluación biológica en ratas para determinar el índice de eficiencia proteica (PER), la relación proteínica neta (NPR) y la digestibilidad verdadera de las mezclas enriquecidas con 0, 3, 6 y 9 por ciento de afrecho.

Figura 9. Índice de eficiencia proteica (PER) de las dietas en ratas



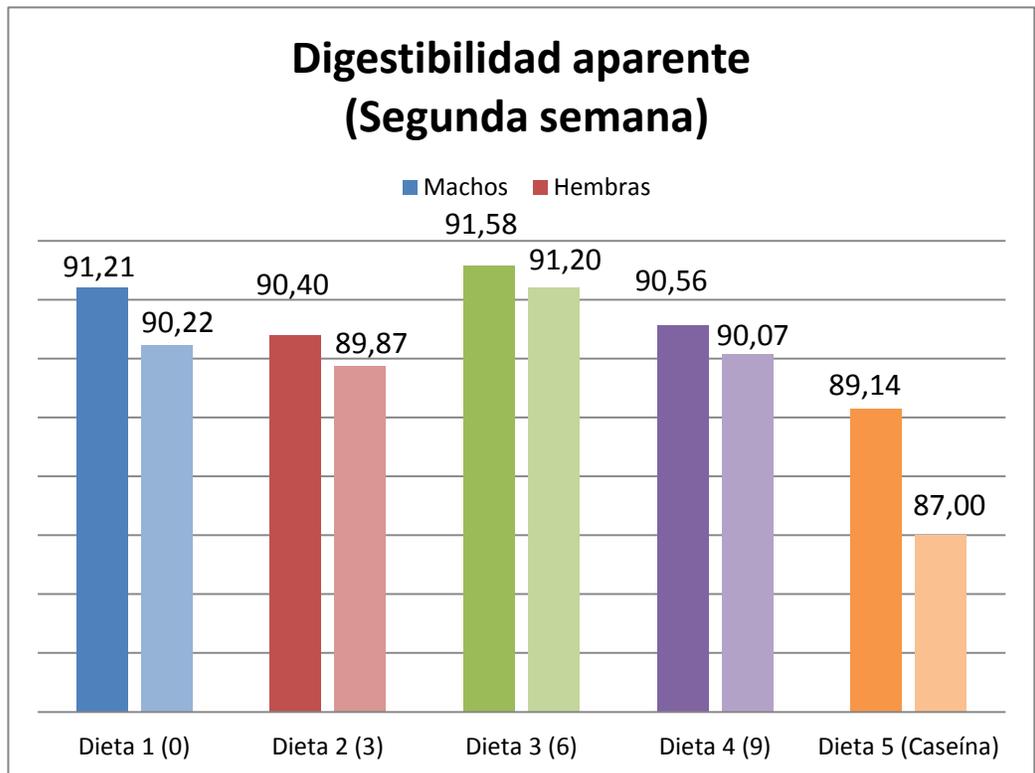
Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP), anexos 4, datos calculados tablas LXVI – LXVIII, ecuación no. 25, elaboración propia.

Figura 10. **Relación Proteínica Neta (NPR) de las dietas en ratas**



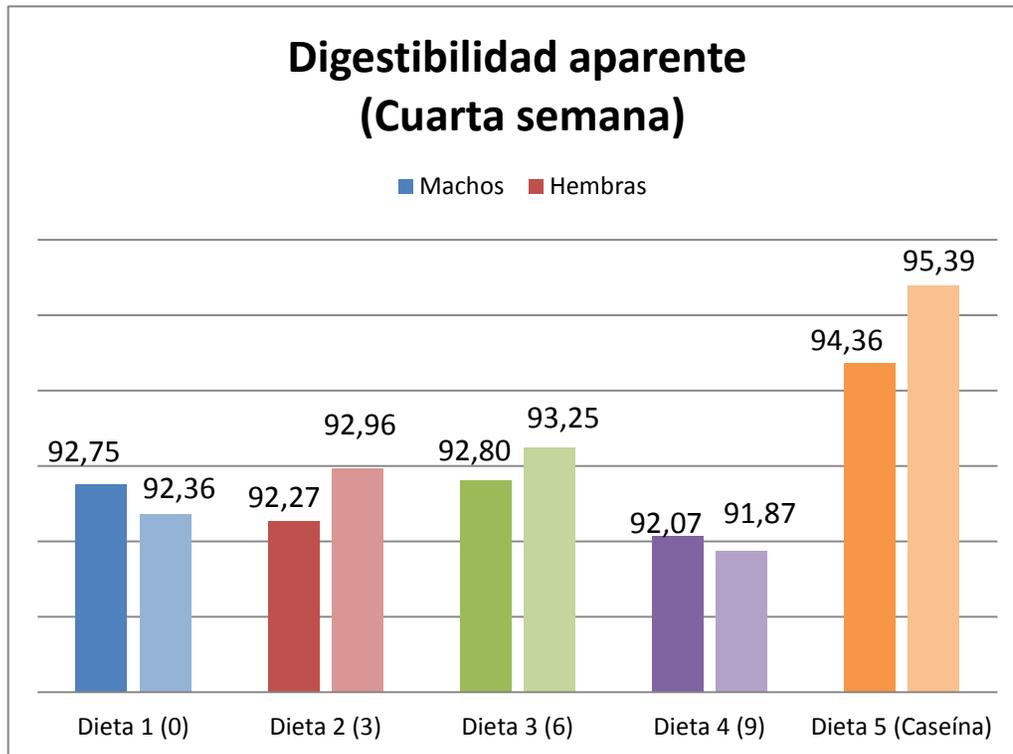
Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP), anexos 4, datos calculados tablas LXVI – LXVIII, ecuación no. 26, elaboración propia.

Figura 11. **Digestibilidad aparente de las dietas en ratas a las dos semanas**



Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP), anexos 4, datos calculados tabla LXIX – LXX, ecuación no. 28, elaboración propia.

Figura 12. **Digestibilidad aparente de las dietas en ratas a las cuatro semanas**



Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP), anexos 4, datos calculados tabla LXXI – LXXII, ecuación no. 28, elaboración propia.

- Evaluar el potencial de Hidrógeno, la capacidad de retención de agua y la capacidad de hinchamiento de la mezcla de harinas de maíz, soya y afrecho mediante análisis fisicoquímicos.

Tabla XXIII. **Análisis fisicoquímicos de las mezclas enriquecidas**

Potencial de Hidrógeno, capacidad de retención de agua y de hinchamiento de las mezclas de harina enriquecidas					
Propiedades	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4	Mezcla 5
pH	6,7	6,4	6,4	6,4	6,35
Retención de agua (gramos agua por gramos muestra)	1,35	1,21	1,18	1,22	1,41
Capacidad de hinchamiento (mililitros por gramos)	7,74	7,94	7,18	6,96	7,68

Fuente: anexos 4, datos calculados tabla LV – LVI, ecuación no. 23 y 24, Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala (UVG).

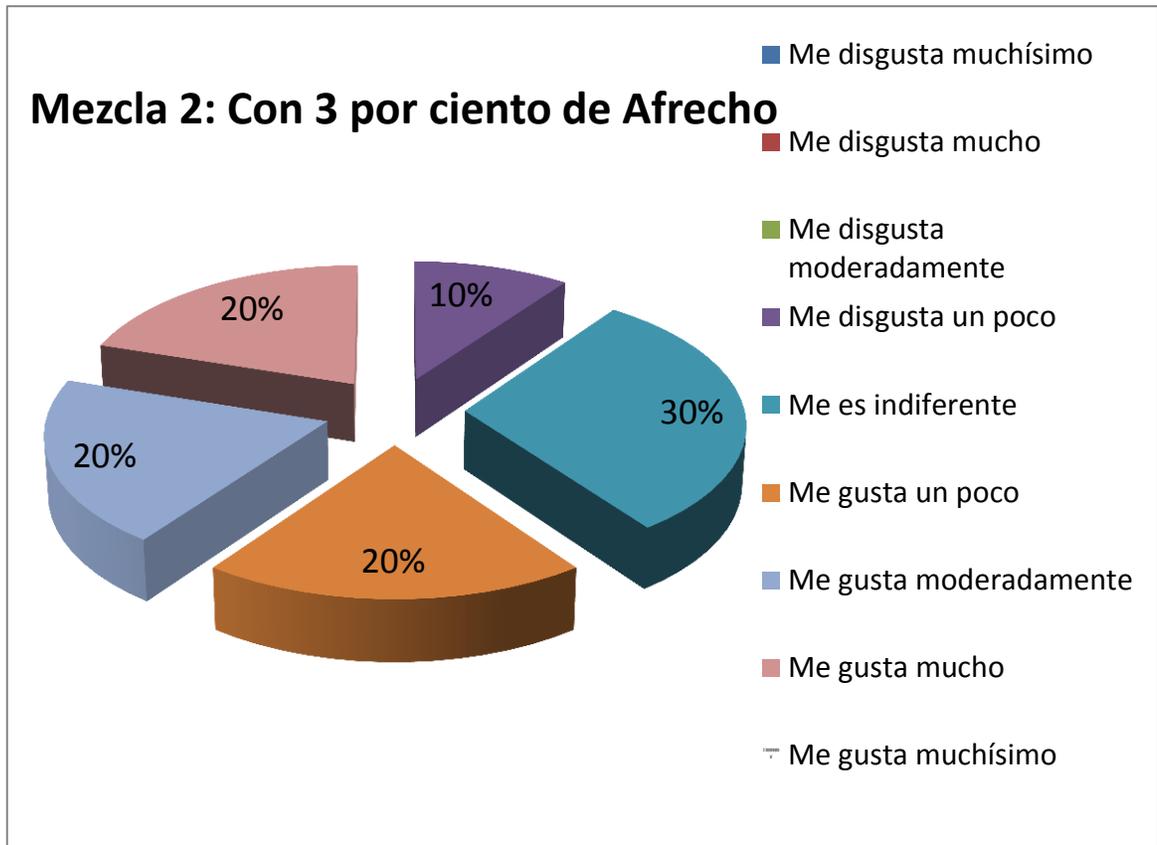
- Realizar una evaluación organoléptica de aceptabilidad de las barras energéticas con las distintas mezclas de harina de maíz y soya enriquecidas con afrecho cervecero en base a la escala hedónica de nueve (9) puntos.

Figura 13. **Evaluación descriptiva de las barras energéticas para la mezcla no. 1 con 0 por ciento de afrecho**



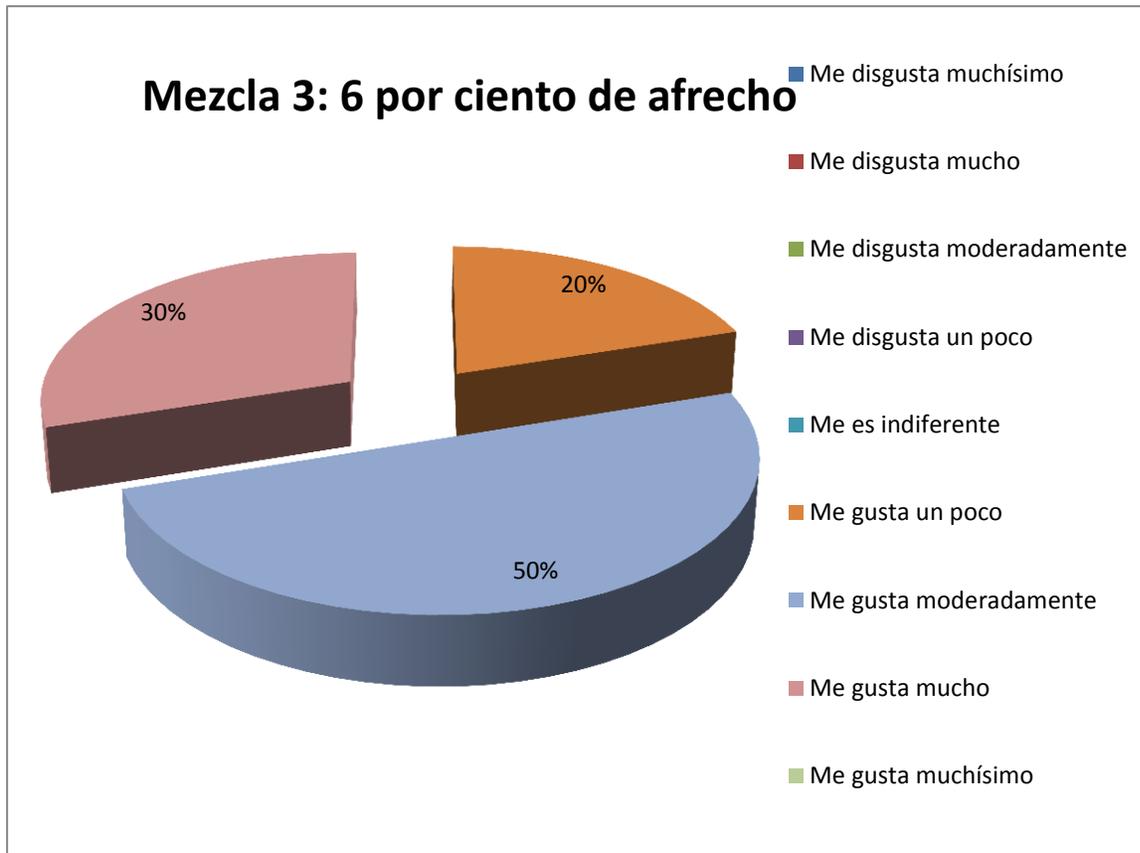
Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), anexo 3, datos calculados, tabla XLIV, elaboración propia.

Figura 14. **Evaluación descriptiva de las barras energéticas para la mezcla no. 2 con 3 por ciento de afrecho**



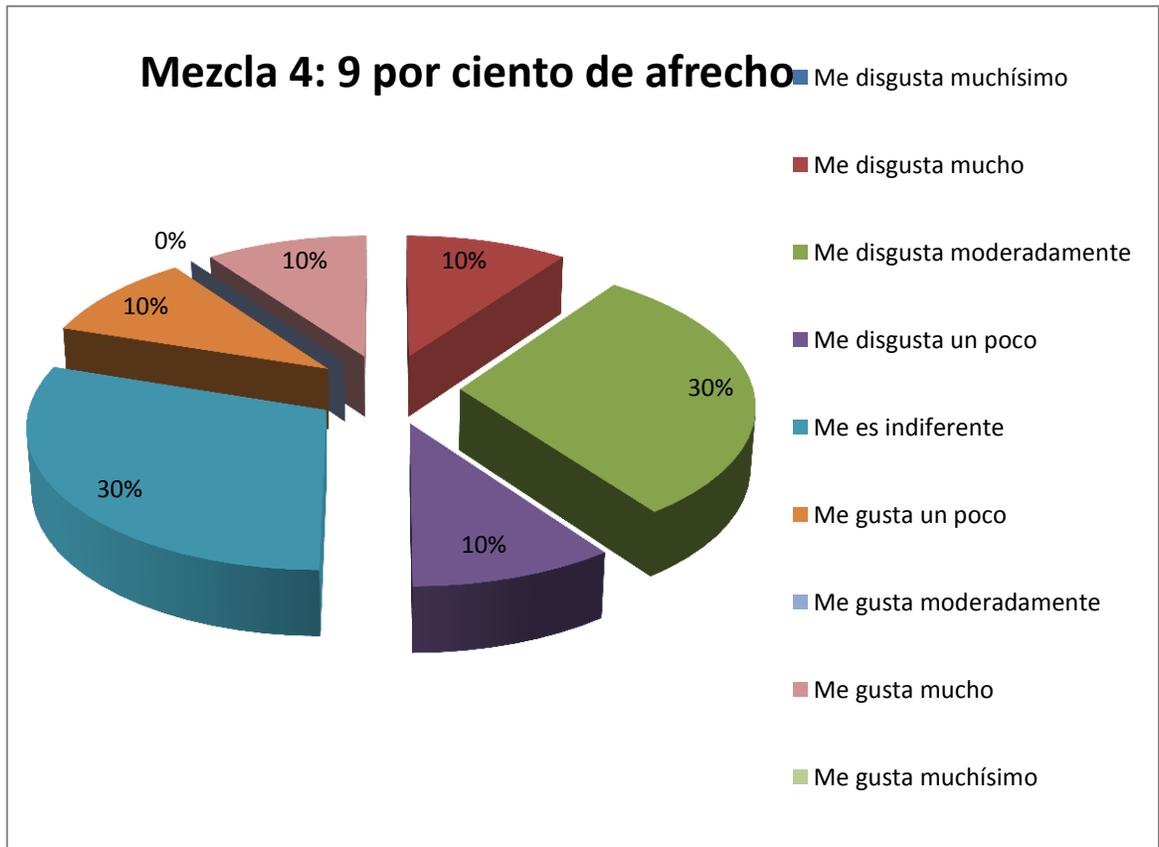
Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), anexo 3, datos calculados, tabla XLIV, elaboración propia.

Figura 15. **Evaluación descriptiva de las barras energéticas para la mezcla no. 3 con 6 por ciento de afrecho**



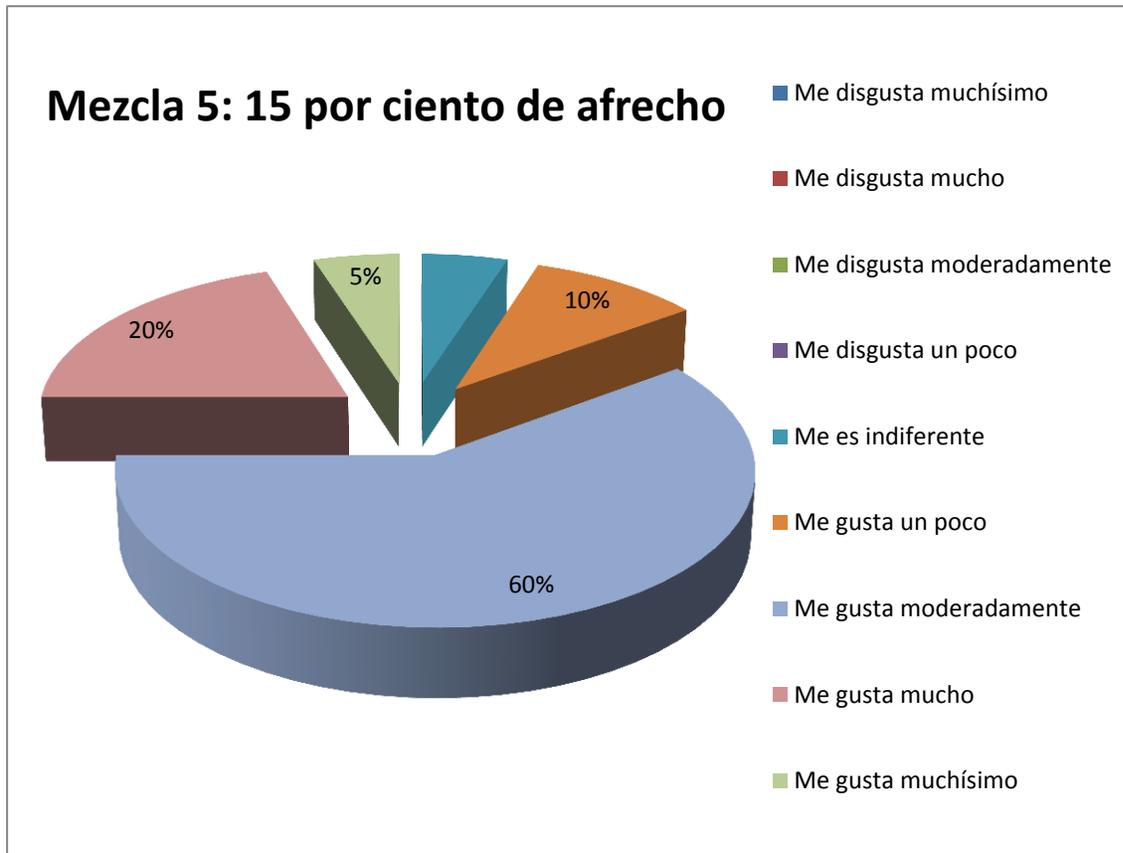
Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), anexo 3, datos calculados, tabla XLIV, elaboración propia.

Figura 16. **Evaluación descriptiva de las barras energéticas para la mezcla no. 4 con 9 por ciento de afrecho**



Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), anexo 3, datos calculados, tabla XLIV, elaboración propia.

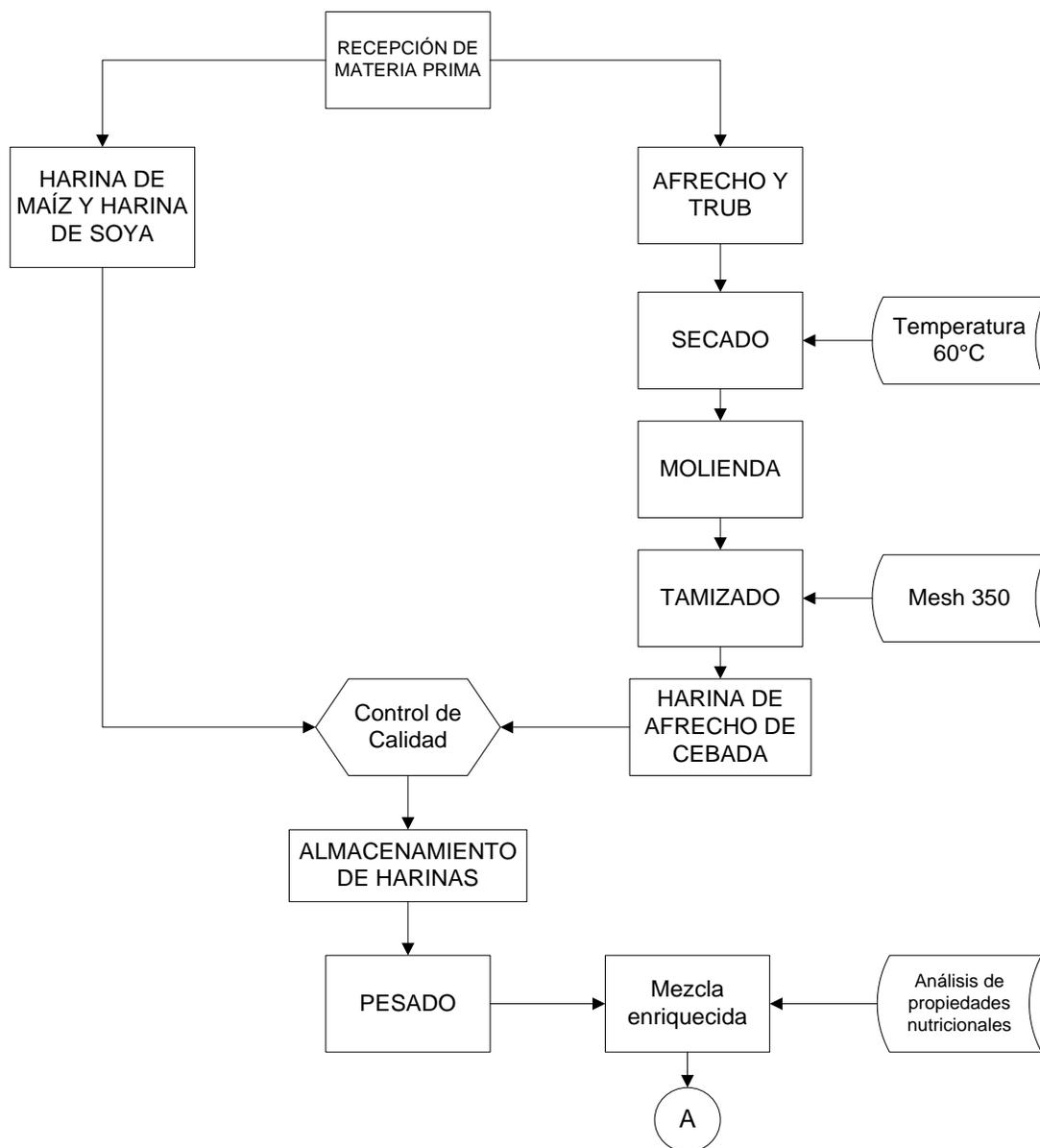
Figura 17. **Evaluación descriptiva de las barras energéticas para la mezcla no. 5 con 15 por ciento de afrecho**



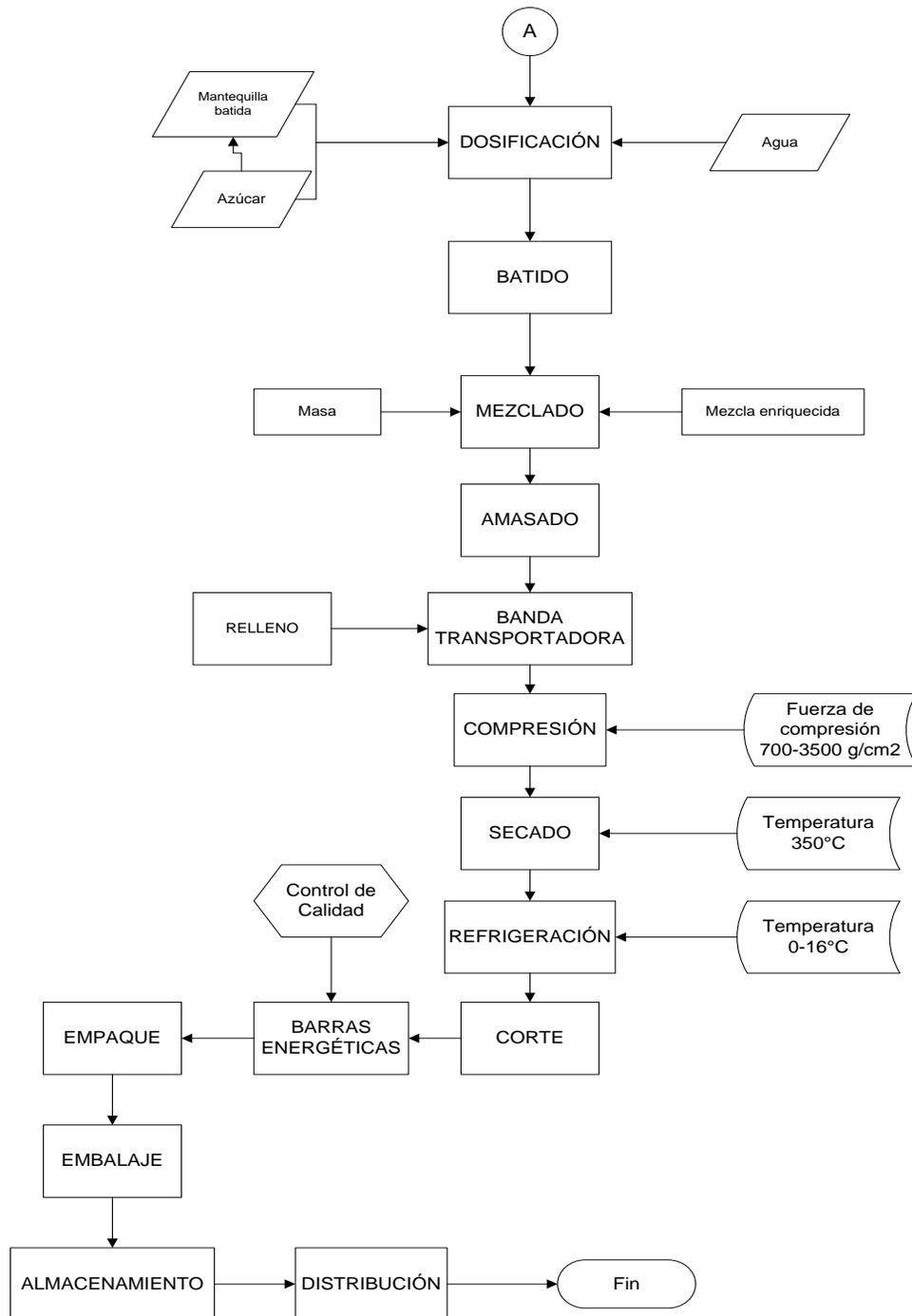
Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), anexo 3, datos calculados, tabla XLIV, elaboración propia.

- Diseñar el diagrama de proceso para la línea de producción de barras energética a partir de harina de maíz y harina de soya enriquecidas con la fibra y proteína del afrecho cervecero.

Figura 18. **Diagrama de flujo del proceso para la elaboración de barras energéticas**



Continuación de la figura 18.



Fuente: elaboración propia, con el programa Microsoft Office Visio 2007

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En esta investigación, se busca evaluar la posibilidad de desarrollar un alimento complementario fortificado producido a base de una mezcla de harina de maíz y soya con la adición de diferentes cantidades de fibra y proteína proveniente de un subproducto de la industria cervecera, como lo es el afrecho de cebada; además se evalúa su efecto sobre las propiedades fisicoquímicas, nutricionales y sensoriales para el desarrollo de barras nutricionales.

La fibra dietética, constituye el remanente comestible de las plantas, el cual es resistente a las enzimas digestivas humanas; incluye la celulosa, hemicelulosa, lignina, gomas, mucílagos, pectinas y otras sustancias; cuyos beneficios producidos en el intestino tras su ingestión equilibrada, incluye el aumento de volumen de las heces, la reducción del tiempo de tránsito y el aumento de la motilidad. Por lo que se busca desarrollar un alimento procesado con un contenido de fibra y proteína aumentado por la incorporación de suplementos ricos en residuos indigeribles, como el afrecho de cebada.

Con el análisis proximal de la harina de afrecho, se determina su composición química, los resultados demuestran que el afrecho presenta un alto contenido de fibra dietética de 45 por ciento y de proteínas 26,83 por ciento en comparación con otros cereales y otros residuos industriales. Además tiene una humedad 2,46 por ciento, cenizas 2,72 por ciento, grasas 8,95 por ciento, fibra cruda 10,29 por ciento, fibra neutro detergente 47,49 por ciento, fibra ácido detergente 22,91 por ciento y carbohidratos 59,04 por ciento; estos datos se presentan en la tabla XX, En base a estos resultados se realizan mezclas con harina de maíz (fibra dietética total 12,4 por ciento, proteína 8,36 por

ciento) y harina de soya (fibra dietética total 25,9 por ciento, proteína 43,7 por ciento) en proporciones que no solo tengan un elevado contenido de fibra y proteína, sino que también presenten un sabor agradable al desarrollar un producto de panificación. Estos valores están acorde a lo establecido en la bibliografía, en las tablas I - IV sobre el valor nutricional de afrecho en general.

En la tabla XXII, se presenta la composición química y nutricional de las harinas enriquecidas con la fibra del afrecho, para la cual la humedad y las cenizas de las harinas permanece constante en un valor promedio de 7,78 por ciento y 2,85 por ciento al aumentar el contenido de afrecho, lo cual está dentro de la norma técnica establecida para harinas (5 por ciento para cenizas y 16 por ciento para humedad), lo cual hace apto el producto para su empleo en la elaboración de productos de panadería, pastelería y otros.

El objetivo principal del estudio, es evaluar el efecto de la incorporación de fibra dietética y proteína a una mezcla de harinas de contenido nutricional conocido (78 por ciento de harina de maíz y 22 por ciento harina de soya) para la cual se determinó que el contenido de fibra dietética aumenta de 10,30 por ciento a 23,84 por ciento al aumentar el porcentaje de afrecho de 0 a 25 por ciento, respectivamente; siendo este valor mayor a los reportados en otros residuos fibrosos vegetales. El elevado contenido de fibra dietética total se debe a que esta se encuentra en las paredes y tejidos de las plantas, por lo que la harina de afrecho de cebada, se obtuvo de exclusivamente de la cáscara del grano de cebada, utilizado para la elaboración de cerveza, lo que lo hace un material altamente rico en fibra, esencialmente insoluble.

Esta misma tendencia se observa con la fibra cruda, la cual aumenta de 1,27 a 2,32 por ciento; valores importantes en este tipo de productos orientados a la elaboración de productos dietéticos. El valor de la fibra cruda es

menor que el de la fibra dietética total debido a que la determinación de la fibra cruda, se basa en el tratamiento secuencial con ácidos y álcalis en condiciones estandarizadas, por lo que, se subvalora en forma importante el contenido de fibra dietética total, debido a que se disuelve gran parte de la hemicelulosa y lignina, cantidades variables de celulosa y toda la fibra soluble.

El porcentaje de proteína aumenta de 16,85 por ciento para la formulación original del Vitacereal® a 19,41 por ciento para la harina enriquecida con 25 por ciento de afrecho, esto se debe a que el afrecho cervecero esta enriquecido con trub un precipitado insoluble rico en proteínas que se separa durante la cocción del mosto y se adiciona al afrecho para ser utilizado como medio filtrante y luego desechado. Esto le confiere un mayor valor nutricional al afrecho que se ve reflejado en los análisis proximales de las harinas enriquecidas.

Con el objetivo de estimar la capacidad de la proteína de las distintas mezclas de harina enriquecida con afrecho, para satisfacer las necesidades nutricionales en cuanto a nitrógeno y aminoácidos esenciales, se realizaron pruebas biológicas con ratas del Bioterio del INCAP para determinar el índice de eficiencia proteica (PER), el cual es mayor para los machos en comparación con el valor que se obtuvo para las hembras y aumentando con el contenido de afrecho. La relación proteínica neta (NPR), representa el promedio de la ingesta de proteína para el grupo de 8 ratas (4 machos y 4 hembras) disminuyendo con el aumento en el contenido de fibra, El PER y la NPR evalúan el valor nutricional de las proteínas, basado en cambios de peso corporal de los animales de experimentación; es decir, cuánto de la proteína ingerida es convertida en peso corporal.

También se evaluó la digestibilidad verdadera de las mezclas enriquecidas, en función de cuánto de lo ingerido se queda en el organismo de la rata, teniéndose una mayor ingesta de nitrógeno con la dieta no. 3, tanto para la segunda como para la cuarta semana.

Los resultados de las propiedades funcionales de las diferentes harinas enriquecidas de maíz, soya y afrecho, se muestran en la tabla XIII; la buena Capacidad de Retención de Agua (CRA) 1,28 mililitros de agua por gramo muestra (promedio), que presentaron las mezclas, se debe mayormente a su alto contenido en fibra dietética y sus componentes como son la celulosa y hemicelulosa, los cuales tienen una gran CRA; además la capacidad de retención de agua aumenta al incrementarse el tamaño de partícula, debido a la fibra agregada. Esto también genera una elevada capacidad de hinchamiento promedio (CH) de 7,50 mililitros por gramos, El potencial de Hidrógeno promedio es de 6,45, lo cual indica un potencial de Hidrógeno ácido,

La evaluación sensorial de las barras energéticas con diferentes porcentajes de sustitución de harina de maíz y soya, por harina de afrecho de cebada (0, 3, 6, 9 y 15 por ciento), se realizó a través de un panel no entrenado, conformado por panelistas de todas las edades que evaluaron el grado de aceptación del producto. El catador decidió en base de la degustación de las barritas energéticas, la calificación otorgada a partir de una escala que variaba desde gustarle muchísimo hasta disgustarle muchísimo. El valor promedio de la aceptabilidad es de 7,30, que equivale en la escala hedónica de 9 puntos a la categoría me gusta moderadamente correspondiente a la harina enriquecida con 15 por ciento de afrecho seguida de la mezcla con 6 por ciento de afrecho. Por lo que se esperaría una buena aceptación del producto en el mercado.

Por último, se realizó el diseño de la línea de producción de barras energéticas, tomando en cuenta los equipos a utilizar en base al proceso, Primero se inicia con la recepción, selección, análisis y almacenamiento de la materia prima (harina de maíz, harina de soya, afrecho, azúcar, frutas y mantequilla batida.). Para obtener la harina de afrecho, esta pasa por un secado, molienda y tamizado; la mantequilla se bate con azúcar y luego la mezcla de harinas es pesada, dosificada y batida hasta hacer una mezcla con consistencia pastosa, la cual se esparce en una superficie plana y por medio de rodillos se comprime hasta obtener el grueso deseado. El relleno puede ser una mermelada de fruta (fresa, en este caso) o una mezcla de frutos secos con miel (pasas, nueces y almendras) y se esparce sobre la masa en la banda transportadora; la masa se dobla, comprime, seca y por último se corta para ser empacada. El diagrama del proceso se representa en la figura 18.

CONCLUSIONES

1. El contenido nutricional de la harina de afrecho no es afectada por el proceso de elaboración de cerveza; siendo la composición promedio, para 3 muestras de afrecho analizadas en duplicado, la siguiente: humedad 2,46, proteína 26,83, cenizas 2,72, grasas 8,95, fibra cruda 10,29, un alto contenido en fibra dietética 45, FND 47,49, FAD 22,91 y carbohidratos 59,04, expresados en porcentaje.
2. El contenido de fibra dietética y proteína en la mezcla de harina de maíz y soya, aumenta conforme se incrementa el porcentaje de harina de afrecho en 0, 5, 10, 15 y 25 por ciento.
3. Las mezclas presentan un aumento de fibra dietética en el rango de 10,30 a 23,84 por ciento al aumentar el contenido de afrecho, al igual que un aumento en el contenido proteico de 16,85 a 19,41 por ciento.
4. Fisicoquímicamente, en promedio las harinas enriquecidas tienen una capacidad de retención de agua de 1,28 mililitros de agua/gramo muestra, una capacidad de hinchamiento de 7,50 mililitros/gramo y el potencial de Hidrógeno es de 6,45.
5. Las harinas enriquecidas tienen una elevada digestibilidad con valores mayores al 90 por ciento y aumentando con la sustitución de afrecho; además se obtuvo una elevada conversión de la proteína ingerida en peso corporal al evaluar el PER y la NPR.

6. El valor promedio de la aceptabilidad es de 7,30, que equivale en la escala hedónica de 9 puntos a la categoría me gusta moderadamente correspondiente a la harina enriquecida con 15 por ciento de afrecho,

7. El proceso de producción de barras energéticas incluye: recepción de materia prima, secado, molienda, tamizado, pesado, dosificación, batido, mezclado, amasado, compresión, secado, refrigeración, corte y empaque y distribución,

RECOMENDACIONES

1. Realizar un análisis químico nutricional a las barras energéticas obtenidas luego del proceso de elaboración, para determinar los porcentajes de nutrientes y compararlos con los obtenidos para la mezcla de harina de maíz y soya enriquecida con harina de afrecho cervecero.
2. Evaluar la posibilidad de realizar una mayor sustitución de afrecho en la mezcla de harina de maíz y harina de soya.
3. Realizar una evaluación nutricional más detallada a la mezcla de harinas enriquecida, tomando en cuenta los minerales, aminoácidos, azúcares y vitaminas presentes.
4. Variar el tipo de producto final obtenido a partir de la mezcla de harina de maíz y soya enriquecida con afrecho, por ejemplo en galletas o atoles.
5. Se recomienda emplear la harina de afrecho para la elaboración de alimentos nutricionalmente mejorados, debido a su alto contenido de macro y micronutrientes y evaluar diferentes niveles de suplementación para la alimentación humana y evaluar su utilización en alimento para animales.

6. Diseñar el proceso productivo utilizando un extrusor que permita obtener las barras de cereal.
7. Se recomienda la difusión de información para promover el desarrollo de tecnología alimentaria y de otras industrias para el aprovechamiento de los componentes nutricionales, funcionales, biológicos y otros usos del afrecho.
8. Evaluar la factibilidad técnica y económica de diseñar y producir este tipo de barras energéticas a nivel industrial.

BIBLIOGRAFÍA

1. ACADÉMIA DEL AREA DE PLANTAS PILOTO DE ALIMENTOS. *Introducción a la tecnología de los alimentos*. 2a ed. México D. F.: Limusa, 2003. p. 148.
2. *Análisis de alimentos, fundamentos y técnicas*. [en línea] http://dspace.universia.net/bitstream/2024/1067/1/ManualdeFundamentosyTecnicasdeAnalisisdeAlimentos_6501.pdf. [consulta: 10 de julio de 2012].
3. ASSOCIATION OF ANALYTICAL COMMUNITIES. *Oficial methods of análisis of the Associations of oficial analytical chemists*. 15a ed. Estados Unidos: AOAC, Cereal Food, 2013. p. 894.
4. BRESSANI, Ricardo. *La importancia del maíz en la nutrición humana, en América Latina y otros países. Mejoramiento nutricional del maíz*. Guatemala: INCAP, s. l., 1972. p. 57. L-3.
5. _____. BREUNER, M.; ORTIZ, M. A. *Contenido de fibra ácido- y neutro detergente y de minerales menores en maíz y su tortilla*. Guatemala: INCAP, s. l., 1989. p. 405.
6. _____. GODÍNEZ, J.; SPECHER, M. A. Desarrollo de productos utilizando maíz de alta calidad proteínica. *Revista de la Universidad del Valle de Guatemala No. 15*: noviembre 2006. p. 42.

7. _____. *Importancia del maíz en la dieta de Meso América, formas de consumo y aporte de nutrientes*. Guatemala: INCAP, s. l., 2005. p. 15.
8. CALLEJO, María Jesús. *Industrias de Cereales y derivados*. Colección: *Tecnología de alimentos*. España: AMV, 2002. p. 75.
9. DADIC, M.; Van, G.; *Experiments with a Whirlpool Tank*. *Brewers Digest*. Alemania: The Brewers Digest, 1972. p. 177.
10. DARY, Omar. *Las bondades de la galleta nutricionalmente mejorada*. Guatemala: Biblioteca INCAP, s. l., 1997. p. 13.
11. IÑARRITU, M.; VEGA, C. *Las barras de cereales como alimento funcional en los niños*. [en línea] *Revista de Pediatría*, Vol. 68, No. 1. <http://www.medigraphic.com/pdfs/pediat/sp-2001/sp011c.pdf>. [consulta: 29 de junio de 2012].
12. *Las barras de cereal como sustituto de comida*. [en línea] <http://www.dietas.com/articulos/las-barras-de-cerealcomosustituto-de-comida.asp>. [consulta: 29 de junio de 2012].
13. LEE, S.; PROSKY, J. W. *Determination of total, soluble and insoluble dietary fiber in foods, Enzymatic- Gravimetric method*. Estados Unidos: Collaborative study, AOAC, 1992. p. 507.
14. MEBAK, *Métodos de análisis cerveceros*. 2a ed. Alemania: Alaface, 2000. p. 350. Tomo II.

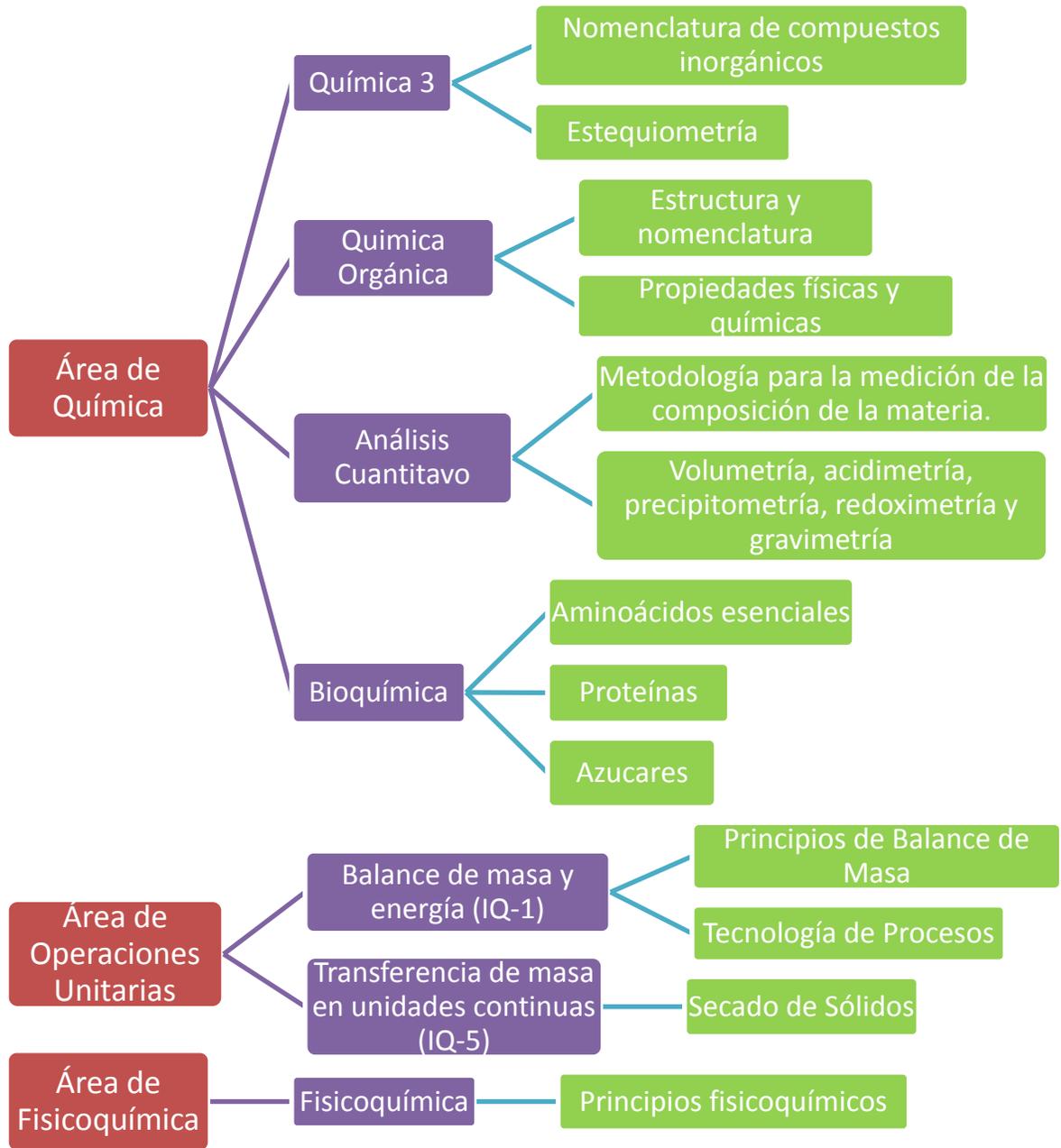
15. PERRY, R. H. *Manual del Ingeniero Químico*. 6a ed. México: McGraw – Hill, 1992. p. 820.
16. PRIETO, D. *Elaboración de barras de cereales con cobertura de chocolate y su estabilidad en almacenamiento*. [en línea] Universidad de Chile, Tesis. Santiago: 1994 <http://orton.catie.ac.crrevisado>. [consulta: 29 de junio de 2012].
17. *Proceso de elaboración de Cerveza*. [en línea] <http://beertec.galeon.com/productos1436661.html>. [consulta: 28 de julio de 2012]
18. REYES, M. J.; DE PALOMO, P.; BRESSANI, R. *Desarrollo de un producto de panificación apto para el adulto mayor a base de harina de trigo y harina de arroz*. Guatemala: Universidad del Valle de Guatemala: s. l., 2004. p. 52. 54(3):314-21.
19. ORGANIZACIÓN DE LAS NACIONES UNIDAD PARA LA AGRICULTURA Y LA ALIMENTACIÓN (FAO). *Producción y manejo de datos de composición química de alimentos en nutrición*. [en línea] <http://www.fao.org/docrep/010/ah833s/AH833S18.html>. [consulta: 28 de julio de 2012]
20. SANCHO, J. *Introducción al análisis sensorial de los alimentos*. España: Universidad de Barcelona, 1999. p. 144.
21. SECRETARÍA DE SEGURIDAD ALIMENTARIA Y NUTRICIONAL (SESAN). *Programa para la Reducción de la desnutrición crónica*

(PRDC) [en línea] 2006 – 2016. Biblioteca virtual.
<http://www.comunicacionparaelcambio.org/c-change/file.php?f=4>
28. [consulta: 2 de febrero de 2013]

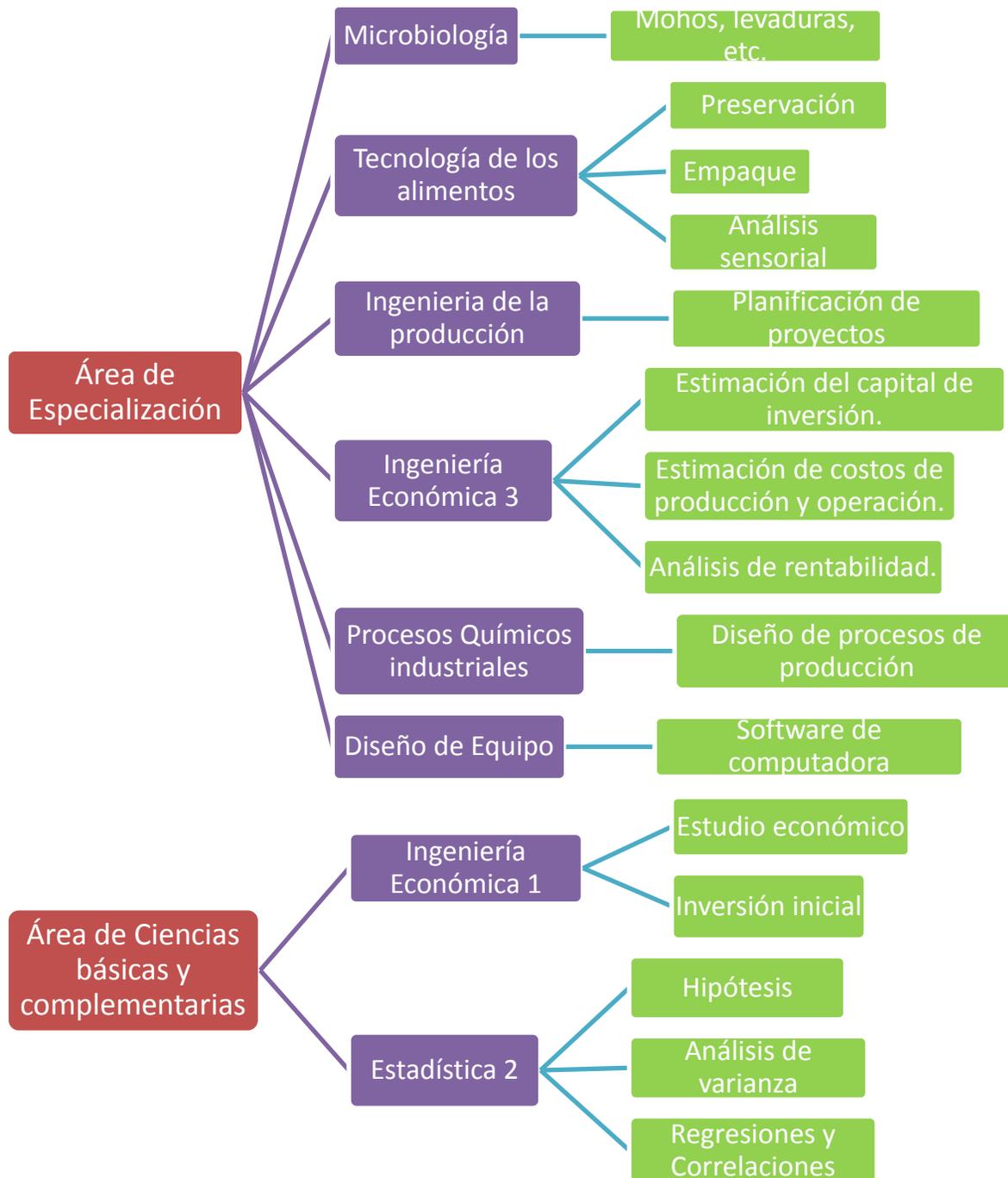
22. SUNGSOO Cho, Susan. *Handbook of Dietary Fiber*. Alemania: Marcel Dekker, Inc., 2001. p. 315.
23. TSCHEUSCHNER, H. *Fundamentos de Tecnología de los Alimentos*. 2a ed. España: Acribia. 2001. p. 567.
24. WOLFGANG, Kunze. *Tecnología para cerveceros y malteros*. Alemania, Deutsche: Bibliothek, 2002. p. 135.
25. ZUMBADO, Hector. *Análisis químico de los alimentos: métodos clásicos*. Cuba: Instituto de Farmacia y Alimentos, Universidad de La Habana, 2002. p. 68.

APÉNDICE

Figura 19. Requisitos académicos

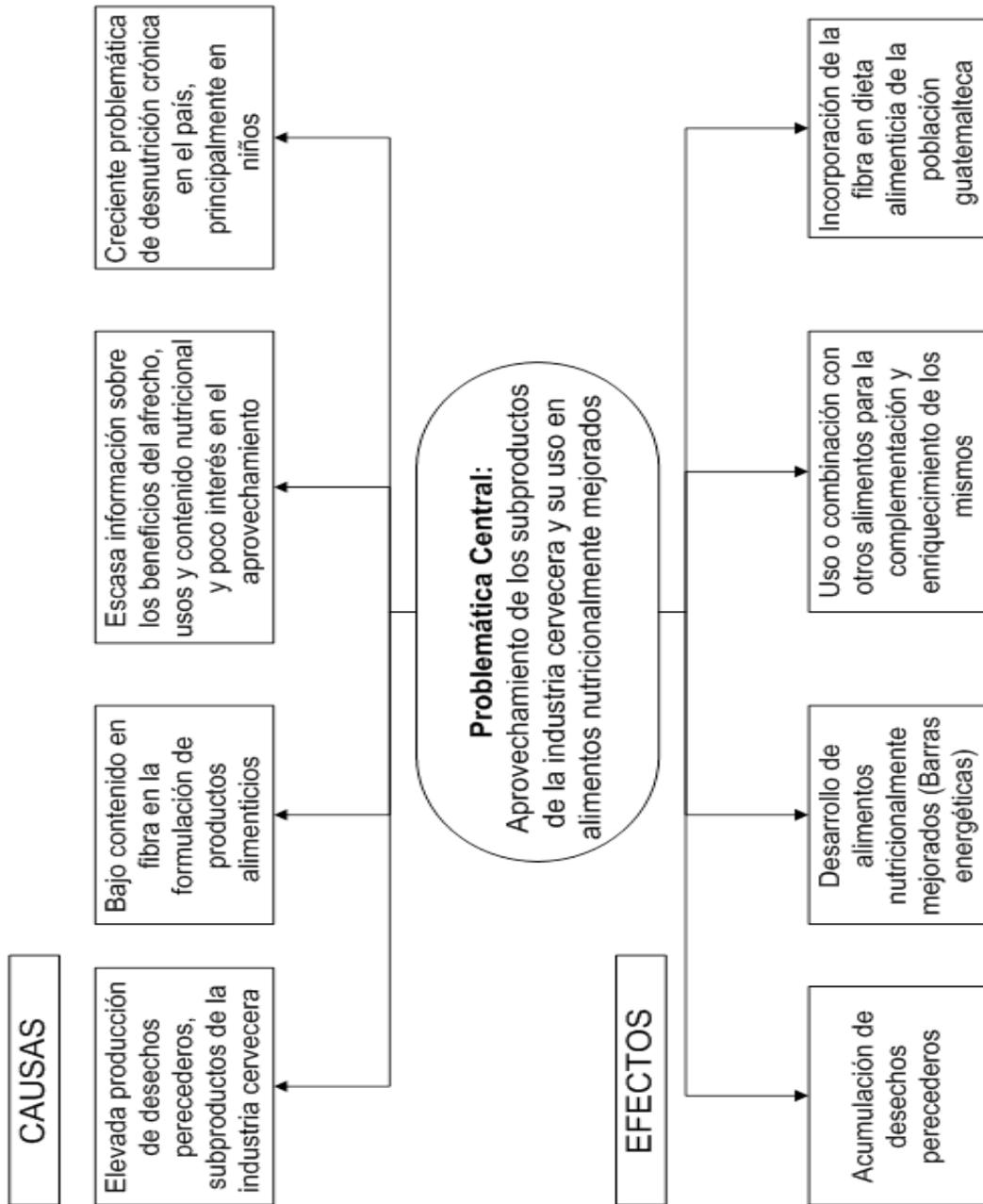


Continuación de la figura 19.



Fuente: elaboración propia, con el programa en Microsoft Office Word 2007.

Figura 20. **Árbol de problema**



Fuente: elaboración propia, con el programa en Microsoft Office Visio 2007.

ANEXOS

1. PREPARACIÓN DE LA BARRITA NUTRICIONAL

1.1. Masa

- Ingredientes
 - Azúcar
 - Mantequilla batida
 - Harina de soya
 - Harina de maíz
 - Agua

- Procedimiento
 - Batir la mantequilla hasta que tenga una consistencia suave.
 - Agregar 1 cucharada de azúcar y seguir batiendo, junto con una cucharada de agua.
 - Cernir la harina y mezclar 3 tazas de la harina enriquecida de harina de soya, maíz y afrecho con la mantequilla, hasta formar una pasta.
 - Extender la masa sobre una superficie lisa y engrasa con un poco de harina y expandirla por toda la superficie con un rodillo,
 - Cortar la masa de forma rectangular.
 - Esparcir el relleno en el centro de la masa y doblar los extremos hacia el centro.
 - Cortar las barritas del tamaño deseado.

- Hornear por 30 minutos a 350°C, finalizado este tiempo, esperar a que se enfríen.
- Empacar en plástico grado alimenticio.

1.2. Relleno

- Ingredientes
 - Fresas
 - Azúcar

- Procedimiento
 - Lavar las frutas que se van a utilizar para hacer la mermelada, puede ser piña, fresa y manzana.
 - Cortar por la mitad y pelar si es necesario.
 - Colocarlas en una olla a fuego lento y ponerlas a cocer con azúcar y agua hasta formar una mermelada espesa.

Nota: el relleno también puede hacerse con una mezcla de nueces, pasas y almendras con miel.

2. MUESTRA DE CÁLCULO

2.1. Determinación de humedad

Se determina tanto la humedad del afrecho como de la harina de afrecho en base a la diferencia de peso después de secado, determinada cantidad de tiempo en el horno de secado.

2.1.1. Humedad gruesa y fina del afrecho: método MEBAK

Se determina la humedad del afrecho antes de ser molido, con la diferencia de peso antes de secar en el horno de 60 grados Celsius y después de transcurridas 12 horas en el horno. Después se determina la humedad del afrecho molido al transcurridas 3 horas en el horno a 105-107 grados Celsius.

$$W_{1,2} = \frac{A - B - D - B}{A - B} \times 100$$

Ecuación no. 5

Donde:

$W_{1,2}$ = humedad gruesa y humedad fina, respectivamente, [por ciento]

A = peso inicial del afrecho [gramos]

B = tara de la cajilla de aluminio y tapadera [gramos]

D = peso final del afrecho después de secado [gramos]

2.1.2. Humedad total del afrecho

$$W \% = W_1 + W_2 - \frac{W_1 - W_2}{100}$$

Ecuación No, 6

Donde:

W = contenido total de agua del afrecho en por ciento

W₁ = pérdida de agua en el presecado en por ciento (agua gruesa)

W₂ = contenido de agua del afrecho presecado en por ciento (agua fina)

2.1.3. Humedad de la harina de afrecho: método AOAC 925,09

Es un método termogravimétrico, que consiste en la aplicación de cierto grado de calor para desprender la humedad del alimento y después por diferencias de pesos, se obtiene el valor final de humedad.

$$\text{Humedad \%} = \frac{A - (D - B)}{A}$$

Ecuación no. 7

Donde:

A = peso de la muestra [gramos]

B = tara del recipiente [gramos]

D = peso final de la muestra y el recipiente [gramos]

2.2. Extracto

2.2.1. Extracto soluble

Extracto lavable o soluble en afrecho seco (por ciento)

$$E_{AS} = \frac{(275 + 0.25 \times W) \times E}{100 - E} \times 4$$

Ecuación no. 8

Extracto lavable en sustancia seca de afrecho

$$E_{LA} = \frac{E_{AS} - 100}{100 - W}$$

Ecuación No, 9

Donde:

E_{AS} = extracto lavable en afrecho seco en por ciento

E_{LA} = extracto lavable en sustancia seca de afrecho en por ciento

E = extracto en el filtrado en PP - por ciento

W = contenido de agua en afrecho seco en por ciento

2.2.2. Extracto total

$$E_{TSA} = \frac{(400 - 25 + 0.25 \times W - E_1) \times E}{100 - E} \times 4$$

Ecuación No, 11

Donde:

E_{TSA} = extracto total secado al aire en por ciento

E_1 = contenido de extracto de la prueba en blanco en PP - por ciento

2.2.3. Extracto digerible

Extracto digerible (por ciento) = Extracto total (por ciento) – Extracto lavable (por ciento)

Ecuación no. 12

2.3. Fibra

2.3.1. Fibra dietética total: método AOAC 985,29

2.3.1.1. Fibra insoluble (FI)

$$FI (\%) = \frac{RI - P - C}{A} \times 100$$

Ecuación no. 13

Donde:

RI = residuo insoluble [gramos]

P = proteínas [gramos]

C = cenizas [gramos]

A = peso de la muestra [gramos]

2.3.1.2. Fibra soluble (FS)

$$FS \% = \frac{RS - P - C}{A} \times 100$$

Ecuación No, 14

Donde:

RS = residuo soluble [gramos]

P = proteínas [gramos]

C = cenizas [gramos]

A = peso de la muestra [gramos]

2.3.2. Fibra cruda: método AOAC 962,09

$$\text{Contenido de Fibra Cruda } \% = \frac{(B - D)}{A} \times 100$$

Ecuación no. 15

Donde:

B = peso con el residuo seco [gramos]

D = peso del crisol con la ceniza [gramos]

A = peso inicial de la muestra [gramos]

2.3.3. Fibra neutro detergente

$$\%FND = \frac{(D - C)}{A} \times 100$$

Ecuación no. 16

Donde:

D = peso de la muestra después del horno [gramos]

C = peso de la muestra después de la mufla (cenizas) [gramos]

A = peso inicial real de la muestra [gramos]

2.3.4. Fibra ácido detergente

$$\%FAD = \frac{(D - B)}{A} \times 100$$

Ecuación no. 17

Donde:

D = peso del crisol con la muestra secada en el horno [gramos]

B = peso del crisol tarado [gramos]

A = peso inicial real de la muestra [gramos]

2.4. Proteína

2.4.1. Método de Kjeldah AOAC 954,01

$$\% \text{Proteínas} = \frac{0.014 \times K \times N_A \times V_A}{A} \times 100$$

Ecuación no. 18

Donde:

A = peso de la muestra tratada [gramos]

N_A y V_A = normalidad y volumen en mililitros de ácido clorhídrico

K = factor de conversión de nitrógeno orgánico a proteínas, según la tabla VI, harina de cebada = 5,83; harina de maíz = 6,25 y harina de soya = 5,71

2.5. Grasa cruda

2.5.1. Método AOAC 920,39

$$\% \text{Grasa Cruda} = \frac{(D - B)}{A} \times 100$$

Ecuación no. 19

Donde:

B = peso del matraz limpio y seco [g]

D = peso del matraz con grasa [g]

A = peso de la muestra [g]

2.6. Cenizas en harinas

2.6.1. Método AOAC 923,03

$$\text{Contenido de cenizas \%} = \frac{D - B}{A} \times 100$$

Ecuación no., 20

Donde:

D = peso del crisol con cenizas [gramos]

B = peso del crisol [gramos]

A = peso inicial de la muestra [gramos]

2.7. Carbohidratos

2.7.1. Carbohidratos asimilables

$$\%CA = 100 - (\%Proteínas + \%Humedad + \%Grasa + \%Cenizas + \%Fibra)$$

Ecuación no. 21

2.7.2 Carbohidratos totales

$$\%CT = 100 - (\%Proteínas + \%Humedad + \%Grasa + \%Cenizas)$$

Ecuación no. 22

2.8. Capacidad de Retención del Agua (CRA)

$$\text{CRA (g de agua / muestra)} = \frac{F - G + H - A}{A}$$

Ecuación no. 23

Donde:

F = peso de las probetas graduadas con muestra húmeda [gramos]

G = peso de las probetas con muestra seca [gramos]

H = peso del sobrenadante [gramos]

A = peso de la muestra [gramos]

2.9. Capacidad de hinchamiento

$$CH \text{ (ml / g)} = \frac{V_f - V_o}{A}$$

Ecuación no. 24

Donde:

V_f = volumen final de la muestra (mililitros)

V_o = volumen inicial ocupado por la muestra (mililitros)

A = peso de la muestra (g)

2.10. Análisis biológico en ratas

2.10.1. Índice de eficiencia proteica (PER): método AOAC 960,48

$$PER = \frac{\text{Aumento del peso del animal en prueba}}{\text{Proteína consumida}}$$

Ecuación no. 25

NOTA: al final de las cuatro semanas, el PER es calculado para el grupo de prueba y para la caseína de referencia estándar,

2.10.2. Razón Proteínica Neta (NPR)

$$\text{NPR} = \frac{\text{ganancia peso grupo exp.} - \text{pérdida peso grupo dieta libre nitrógeno}}{\text{Proteína consumida por el grupo experimental}}$$

Ecuación no. 26

2.10.1. Razón proteínica neta relativa (RNPR)

$$\text{RNPR} = \frac{\text{NPR de la proteína en prueba}}{\text{NPR de la proteína de referencia (Caseína)}} \times 100$$

Ecuación no. 27

2.10.2. Digestibilidad verdadera

$$\text{Digestibilidad verdadera \%} = \frac{\text{N ingerido} - \text{N fecal} - \text{N endógeno}}{\text{N ingerido}} \times 100$$

Ecuación no. 28

Donde:

N = contenido de nitrógeno en la muestra

3. DATOS ORIGINALES

Tabla XXIV. **Determinación de la humedad gruesa en el afrecho**

HUMEDAD			
Antes de ser molido			
No, Corrida	Tara (g)	Peso inicial del Afrecho (g)	Peso final del afrecho (g)
1	23,9894	33,9875	26,9999
	24,9465	34,9465	28,1748
2	23,5042	33,5052	26,8765
	24,5427	34,5428	27,6158
3	23,4197	33,4194	26,5533
	25,1173	35,1126	28,1984

Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), elaboración propia.

Tabla XXV. **Determinación de la humedad fina en el afrecho**

HUMEDAD			
Después de ser molido			
No, Corrida	Tara (g)	Peso inicial del Afrecho (g)	Peso final del afrecho (g)
1	23,9849	28,9847	28,7628
	23,4934	28,4934	28,2788
2	23,4078	28,4077	28,1981
	24,5436	29,544	29,3552
3	25,131	30,1315	29,9411
	23,5051	28,5055	28,3154

Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), elaboración propia.

Tabla XXVI. **Determinación de la humedad en la harina de afrecho**

HUMEDAD			
No, Muestra	Peso de la muestra [g]	Peso del crisol vacío [g]	Peso final [g]
1	2,0188	17,0452	19,0142
2	2,0013	16,5555	18,5192
3	2,0067	16,3578	18,317
4	2,0071	15,8884	17,8413
5	2,0093	16,8402	18,7928
6	2,0033	16,2813	18,2335

Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), elaboración propia.

Tabla XXVII. **Determinación del extracto en la harina de afrecho**

EXTRACTO			
No, Corrida	Extracto aparente (por ciento w/w) Soluble	Extracto aparente (por ciento w/w) Digerible	Blanco (por ciento w/w)
1	0,8	0,94	0,18
	0,71	0,84	0,18
2	1,03	1,23	0,19
	1,02	1,21	0,19

Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), elaboración propia.

Tabla XXVIII. **Determinación de la fibra dietética total en el afrecho**

FIBRA DIETÉTICA							
Muestra		Peso de muestra	Crisoles + celite (W1)	Crisol +celite + muestra seca (W2)	Crisol + ceniza, W3	Peso para proteína	Mililitros HCl
AFRECHO	1	1,013	30,073	31,0824	37,1336	1,5310	22,10
	2	1,0918	36,0788	37,1004	36,7895	1,5634	25,6
	3	1,0127	30,6632	31,6483		1,4182	20,10
	4	1,0145	30,258	31,213		1,453	18,2
	5	1,0697	36,9509	37,9631		1,0213	19,5
	6	1,0807	36,5148	37,5317		1,2212	18,6
BLANCO	B		30,2756	30,6212	30,539	0,7940	0,6

Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), elaboración propia.

Tabla XXIX. **Determinación de la fibra cruda en la harina de afrecho**

FIBRA CRUDA					
No, Muestra	Peso muestra [g]	Peso crisol vacío [g]	Peso final [g]	(cenizas) Peso crisol vacío [g]	Peso cenizas [g]
1	1,0018	36,0523	36,1635	42,9801	42,9824
2	1,0034	37,4567	37,5697	29,5714	29,5746
3	1,0019	36,7701	36,8862	43,1509	43,1529
4	1,0025	35,8965	36,0013	30,1649	30,1667
5	1,003	42,9456	43,0482	30,2282	30,2568
6	1,0015	38,2365	38,3497	29,7601	29,7642

Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), elaboración propia.

Tabla XXX. **Determinación de la fibra neutro detergente en el afrecho**

FIBRA DETERGENTE NEUTRO			
No, Muestra	Peso de la muestra [g]	Peso del crisol vacío [g]	Peso después del horno [g]
1	1,0311	29,7663	30,4166
2	1,0337	35,8603	36,3694
3	1,0033	42,9346	43,4188
4	1,0216	30,1293	30,6264
5	1,0345	34,7941	35,3046
6	1,0248	30,2325	30,8655

Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), elaboración propia.

Tabla XXXI. **Determinación de la fibra ácido detergente en el afrecho**

FIBRA ACIDO DETERGENTE			
No, Muestra	Peso de la muestra [g]	Peso del crisol vacío [g]	Peso después del horno [g]
1	1,0051	29,7663	29,9975
2	1,0209	30,1293	30,3888
3	1,0002	42,9441	43,1647
4	0,9744	36,0521	36,2534
5	0,9881	35,8603	36,1148
6	0,9527	34,7941	34,9903

Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), elaboración propia.

Tabla XXXII. **Determinación de la proteína en la harina de afrecho**

PROTEINA		
No, Muestra	Peso de la muestra [g]	Volumen gastado de titulante [mililitros]
1	0,251	7,5
2	0,2539	7,4
3	0,2516	7,6
4	0,2513	8,5
5	0,2521	8
6	0,2508	7,4

Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), elaboración propia.

Tabla XXXIII. **Determinación de la grasa cruda en la harina de afrecho**

GRASA CRUDA			
No, Muestra	Peso de la muestra [g]	Peso del crisol vacío [g]	Peso final [g]
1	6,5955	74,3484	74,8909
2	6,3335	75,7635	76,3006
3	6,0091	76,4091	76,9553
4	6,0109	77,5689	78,1236
5	6,7592	75,2354	75,8709
6	6,7345	76,8934	77,5165

Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), elaboración propia.

Tabla XXXIV. **Determinación del contenido de cenizas en el afrecho**

CENIZAS			
No, Muestra	Peso de la muestra [g]	Peso del crisol vacío [g]	Peso final [g]
1	2,0022	13,3962	13,4585
2	2,0034	16,8212	16,8842
3	2,0098	18,3423	18,3937
4	2,0034	17,5472	17,5974
5	2,0064	19,6935	19,7435
6	2,0089	23,2527	23,3036

Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), elaboración propia.

Tabla XXXV. **Determinación del potencial de Hidrógeno en las mezclas**

Potencial de Hidrógeno	
No, Muestra	pH
1	6,6
	6,8
2	6,5
	6,3
3	6,4
	6,4
4	6,4
	6,4
5	6,3
	6,4

Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), elaboración propia.

Tabla XXXVI. **Determinación de la capacidad de retención de agua**

CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA						
No, Muestra	Peso de la muestra [g]	Peso de probeta vacía [g]	Peso earlenmeyer vacío [g]	Peso probeta con muestra húmeda [g]	Peso probeta con muestra seca [g]	Peso earlen, después de horno
1	2,0080	13,2580	38,8514	19,5561	15,0231	39,0480
	2,0001	11,8038	37,8919	18,1189	13,6187	38,0871
2	2,0084	12,9579	41,8360	19,4070	15,2804	42,0271
	2,0084	11,7572	41,0996	18,2496	13,8634	41,2902
3	2,0028	11,8854	38,8492	18,1596	13,8935	39,0249
	2,0117	13,2826	39,0291	19,7971	15,6584	39,1969
4	2,0015	13,0410	38,7197	19,4485	15,3108	38,8521
	2,0026	12,1119	38,8891	18,6052	14,1398	39,0510
5	2,0096	13,2469	41,5214	19,9443	15,2638	41,6707
	2,0197	11,8024	41,8890	18,7306	13,9916	42,0469

Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), elaboración propia.

Tabla XXXVII. **Determinación de la capacidad de hinchamiento**

CAPACIDAD DE HINCHAMIENTO				
No, Muestra	Peso del crisol + muestra [g]	Peso del crisol vacío [g]	Vo [mililitros]	Vf [mililitros]
1	8,625	7,5873	2	10,30
	8,5666	7,4452	2,1	10,50
2	8,4903	7,385	2,3	10,30
	8,3406	7,3811	1,9	10,20
3	8,5995	7,5036	2,2	10,10
	8,6484	7,531	2,3	10,30
4	8,9487	7,9866	3	10,40
	8,9051	7,6193	2,5	10,5
5	8,4582	7,431	1,9	10,5
	8,7397	7,5811	2,4	10,5

Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), elaboración propia.

Tabla XXXVIII. **Determinación de la humedad en la harina enriquecida**

HUMEDAD			
No, Muestra	Peso de la muestra [g]	Peso del crisol vacío [g]	Peso final [g]
1	2,0077	16,5444	18,3956
	2,0184	15,8187	17,6748
2	2,0189	16,8792	18,7348
	2,0014	15,9918	17,8353
3	2,0002	16,6835	18,5261
	2,0156	15,6327	17,4874
4	2,0026	15,5664	17,4133
	2,0237	15,7794	17,6493
5	2,0039	16,7509	18,6065
	2,0144	16,6328	18,4987

Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), elaboración propia.

Tabla XXXIX. **Determinación de la fibra dietética en la harina enriquecida**

FIBRA DIETÉTICA								
Muestra	Peso de muestra	Crisoles + celite (W1)	Crisol + celite + muestra seca (W2)	Crisol + ceniza, W3	Peso muestra para proteína	Mililitros hcl		
MEZCLAS	1	1,0637	30,7538	31,1858	43,8175	0,9299	9,60	
		1,0214	43,4237	44,0878				
	2	1,0468	29,8647	30,4109	30,7411	0,9613	12,20	
		1,023	30,379	31,0406				
	3	1,0045	30,2618	30,7381	31,0061	1,0259	13,6	
		1,0192	30,6136	31,3322				
	4	1,034	43,8752	44,4629	36,6816	1,1061	13,8	
		1,028	36,3338	37,0197				
	5	1,0072	43,649	44,4873	37,8725	1,3556	14,7	
		1,0171	37,4819	38,287				
	BLANCO	B		30,2756	30,6212	30,539	0,7940	0,6

Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), elaboración propia.

Tabla XL. **Determinación de la fibra cruda en la harina enriquecida**

FIBRA CRUDA					
No, Muestra	Peso muestra [g]	Peso crisol vacío [g]	Peso final [g]	(cenizas) Peso del crisol vacío [g]	Peso cenizas [g]
1	1,0067	30,2297	30,2461	30,2307	0,0010
	1,0034	37,4567	37,4697	37,4596	0,0029
2	1,0167	29,7681	29,7934	29,7770	0,0089
	1,0015	38,2365	38,2597	38,2422	0,0057
3	1,0095	29,3727	29,396	29,3750	0,0023
	1,0025	35,8965	35,9193	35,8987	0,0022
4	1,0133	43,3260	43,3501	43,3268	0,0008
	1,0156	30,2498	30,2733	30,2509	0,0011
5	1,0206	43,1495	43,1739	43,1496	0,0001
	1,0576	43,1522	43,1766	43,1528	0,0006

Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), elaboración propia.

Tabla XLI. **Determinación de la proteína en la harina enriquecida**

PROTEINA		
No, Muestra	Peso de la muestra [g]	Volumen gastado de titulante [mililitros]
1	0,2582	4,5
	0,2532	4,7
2	0,2595	4,7
	0,2513	4,8
3	0,2536	4,9
	0,2569	4,9
4	0,2579	5,1
	0,2522	5
5	0,2593	5,4
	0,2567	5,3

Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), elaboración propia.

Tabla XLII. **Determinación de la grasa cruda en la harina de afrecho**

GRASA CRUDA			
No, Muestra	Peso de la muestra [g]	Peso del crisol vacío [g]	Peso final [g]
1	6,7231	76,4562	76,6853
	6,428	76,4545	76,6765
2	6,6231	75,0024	75,2566
	6,0425	75,0004	75,242
3	6,4299	75,5009	75,768
	6,1048	75,4999	75,7486
4	6,3645	75,2365	75,4979
	6,0866	75,2345	75,5101
5	6,406	74,35	74,6386
	6,0948	74,3488	74,6739

Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), elaboración propia.

Tabla XLIII. **Determinación del contenido de cenizas en el afrecho**

CENIZAS			
No, Muestra	Peso de la muestra [g]	Peso del crisol vacío [g]	Peso final [g]
1	2,0004	12,7317	12,7935
	2,011	12,505	12,5663
2	2,0093	13,8485	13,9067
	2,0046	11,7396	11,7979
3	2,0114	11,9389	11,9966
	2,002	12,2274	12,2851
4	2,0076	9,8997	9,9547
	2,0154	12,542	12,5991
5	2,0086	17,5469	17,5994
	2,0034	15,2876	15,3398

Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), elaboración propia.

Tabla XLIV. Prueba de aceptabilidad

	Afrecho	0 por ciento	3 por ciento	6 por ciento	9 por ciento	15 por ciento
	No,	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4	Mezcla 5
Me disgusta muchísimo	1	0	0	0	0	0
Me disgusta mucho	2	0	0	0	10	0
Me disgusta moderadamente	3	0	0	0	30	0
Me disgusta un poco	4	0	10	0	10	0
Me es indiferente	5	10	30	0	30	5
Me gusta un poco	6	10	20	20	10	10
Me gusta moderadamente	7	50	20	50	0	60
Me gusta mucho	8	20	20	30	10	20
Me gusta muchísimo	9	10	0	0	0	5
	Total	100	100	100	100	100

Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), elaboración propia.

Tabla XLV. **Determinación del índice de eficiencia proteica, razón proteínica neta de las dietas y digestibilidad verdadera de las dietas**

TITULO
 PROYECTO No.:
 DIETA 0% afrecho

Fecha iniciación: 17/04/2013
 Fecha terminación:

RATA No							Sexo Machos		TOTAL	
Fecha	17/04	25/04	02/05	08/05	15/05					
Peso	50	92	139	177	221					
Aumento de peso										
Alimento dado		100	150	150	150					
Alimento sobrante		14	40	30	12					
Alimento ingerido										
Observaciones										
RATA No							Sexo		TOTAL	
Fecha										
Peso	48	98	159	196	245					
Aumento de peso										
Alimento dado		100	150	150	160					
Alimento sobrante		03	28	16	12					
Alimento ingerido										
Observaciones										
RATA No							Sexo		TOTAL	
Fecha										
Peso	48	95	146	182	221					
Aumento de peso										
Alimento dado		100	150	150	150					
Alimento sobrante		03	42	34	24					
Alimento ingerido										
Observaciones										
RATA No							Sexo		TOTAL	
Fecha										
Peso	46	89	118	171	220					
Aumento de peso										
Alimento dado		100	150	150	160					
Alimento sobrante		06	55	25	14					
Alimento ingerido										
Observaciones										

Continuación de la tabla XLV.

TITULO
 PROYECTO No.:
 DIETA 2 3% Afrecho

Fecha iniciación:
 Fecha terminación:

RATA No	Sexo	Machos				TOTAL
Fecha		17/01	25/4	02/05	08/05	
Peso		50	82	157	206	262
Aumento de peso						
Alimento dado			100	150	160	180
Alimento sobrante			00	06	08	20
Alimento ingerido						
Observaciones						
RATA No	Sexo					TOTAL
Fecha						
Peso		48	82	126	170	216
Aumento de peso						
Alimento dado			100	150	150	160
Alimento sobrante			00	38	33	24
Alimento ingerido						
Observaciones						
RATA No	Sexo					TOTAL
Fecha						
Peso		48	89	138	177	225
Aumento de peso						
Alimento dado			100	150	150	160
Alimento sobrante			13	40	30	30
Alimento ingerido						
Observaciones						
RATA No	Sexo					TOTAL
Fecha						
Peso		46	87	139	182	233
Aumento de peso						
Alimento dado			100	150	150	180
Alimento sobrante			03	28	22	36
Alimento ingerido						

Continuación de la tabla XLV.

TITULO
 PROYECTO No.:
 DIETA 3 Afrecho 6%

Fecha iniciación:
 Fecha terminación:

RATA No	Sexo	Machos					TOTAL
Fecha		17/4	25/4	02/05	08/05	15/05	
Peso		50	90	136	175	211	
Aumento de peso							
Alimento dado			100	150	150	160	
Alimento sobrante			14	41	31	35	
Alimento ingerido							
Observaciones							
RATA No	Sexo						TOTAL
Fecha							
Peso		48	94	146	190	238	
Aumento de peso							
Alimento dado			100	150	150	160	
Alimento sobrante			10	29	29	23	
Alimento ingerido							
Observaciones							
RATA No	Sexo						TOTAL
Fecha							
Peso		48	95	147	195	245	
Aumento de peso							
Alimento dado			100	150	150	160	
Alimento sobrante			02	24	22	12	
Alimento ingerido							
Observaciones							
RATA No	Sexo						TOTAL
Fecha							
Peso		46	92	148	191	242	
Aumento de peso							
Alimento dado			100	150	150	180	
Alimento sobrante			10	30	17	27	
Alimento ingerido							
Observaciones							

Continuación de la tabla XLV.

TITULO		Fecha iniciación:					TOTAL	
PROYECTO No.:		Fecha terminación:					TOTAL	
DIETA 3 Afrecho 6%							TOTAL	
RATA No	Sexo	Hembras					TOTAL	
Fecha		17/4	25/4	02/05	08/05	15/05		
Peso		50	94	138	161	179		
Aumento de peso								
Alimento dado			100	150	150	150		
Alimento sobrante			10	41	45	46		
Alimento ingerido								
Observaciones								
RATA No	Sexo						TOTAL	
Fecha								
Peso		48	81	177	139	157		
Aumento de peso								
Alimento dado			100	150	150	150		
Alimento sobrante			17	50	48	52		
Alimento ingerido								
Observaciones								
RATA No	Sexo						TOTAL	
Fecha								
Peso		48	82	106	132	165		
Aumento de peso								
Alimento dado			100	150	150	150		
Alimento sobrante			12	61	55	59		
Alimento ingerido								
Observaciones								
RATA No	Sexo						TOTAL	
Fecha								
Peso		46	77	115	137	153		
Aumento de peso								
Alimento dado			100	150	150	150		
Alimento sobrante			25	56	59	66		
Alimento ingerido								
Observaciones								

Continuación de la tabla XLV.

TITULO
 PROYECTO No.:
 DIETA 4 Afrecho 9%

Fecha iniciación:
 Fecha terminación:

RATA No	Sexo						TOTAL
	Machos						
Fecha		17/4	25/4	02/05	08/05		
Peso		50	98	161	206	252	
Aumento de peso							
Alimento dado			100	150	160	180	
Alimento sobrante			04	11	17	30	
Alimento ingerido							
Observaciones							
RATA No	Sexo						TOTAL
Fecha							
Peso		48	95	143	180	225	
Aumento de peso							
Alimento dado			100	150	150	160	
Alimento sobrante			12	32	30	37	
Alimento ingerido							
Observaciones							
RATA No	Sexo						TOTAL
Fecha							
Peso		48	96	149	205	264	
Aumento de peso							
Alimento dado			100	150	150	160	
Alimento sobrante			12	30	19	12	
Alimento ingerido							
Observaciones							
RATA No	Sexo						TOTAL
Fecha							
Peso		46	94	146	184	230	
Aumento de peso							
Alimento dado			100	150	150	160	
Alimento sobrante			02	30	29	32	
Alimento ingerido							

Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP), elaboración propia,

4. DATOS CALCULADOS

4.1. Análisis nutricional en la harina de afrecho

Tabla XLVI. Determinación de la humedad en la harina de afrecho

HUMEDAD				
Muestra	Peso de la muestra	Peso crisol vacío [g]	Peso final	Humedad
1	2,0188	17,0452	19,0142	2,47
2	2,0013	16,5555	18,5192	1,88
3	2,0067	16,3578	18,317	2,37
4	2,0071	15,8884	17,8413	2,70
5	2,0093	16,8402	18,7928	2,82
6	2,0033	16,2813	18,2335	2,55

Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), Anexo 3, datos originales Tablas XXIV - XXVI, Ecuación 5-7.

Tabla XLVII. Determinación de la fibra dietética total en el afrecho

FIBRA DIETÉTICA								
Muestra	Peso de muestra	Crisoles + celite (W1)	Crisol + celite + muestra seca (W2)	Peso muestra proteína	HCl	Proteína	fibra Dietética	
AFRECHO	A	1,013	30,073	31,0824	1,5310	22,10	0,1261	52,93
	B	1,0918	36,0788	37,1004	1,5634	25,6	0,1430	52,53
	C	1,0127	30,6632	31,6483	1,4182	20,10	0,1238	50,73
	D	1,0145	30,258	31,213	1,453	15,2	0,0914	50,96
	E	1,0697	36,9509	37,9631	1,0213	20,5	0,1753	48,34
	F	1,0807	36,5148	37,5317	1,0213	21,6	0,1847	47,88

Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), Anexo 3, datos Originales Tabla XXVIII, Ecuación 13-14.

Tabla XLVIII. **Determinación de la fibra cruda en la harina de afrecho**

FIBRA CRUDA							
No, Muestra	Peso muestra [g]	Peso crisol [g]	Peso final [g]	(cenizas) Peso del crisol [g]	Peso cenizas [g]	Contenido de cenizas [g]	Fibra cruda
1	1,0018	36,0523	36,1635	42,9801	42,9824	0,0023	10,87
2	1,0034	37,4567	37,5697	29,5714	29,5746	0,0032	10,94
3	1,0019	36,7701	36,8862	43,1509	43,1529	0,002	11,39
4	1,0025	35,8965	36,0013	30,1649	30,1667	0,0018	10,27
5	1,003	42,9456	43,0482	30,2282	30,2568	0,0286	7,38
6	1,0015	38,2365	38,3497	29,7601	29,7642	0,0041	10,89

Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), Anexo 3, tabla XXIX, ecuación 15.

Tabla XLIX. **Determinación de la fibra neutro detergente en el afrecho**

FIBRA DETERGENTE NEUTRO					
No, Muestra	Peso de la muestra [g]	Peso crisol vacío [g]	Peso después del horno [g]	Contenido de cenizas [g]	Fibra detergente neutro [por ciento]
1	1,0311	29,7663	30,4166	29,9154	48,61
2	1,0337	35,8603	36,3694	35,8803	47,32
3	1,0033	42,9346	43,4188	42,9533	46,40
4	1,0216	30,1293	30,6264	30,1457	47,05
5	1,0345	34,7941	35,3046	34,8131	47,51
6	1,0248	30,2325	30,8655	30,3667	48,67

Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), Anexo 3, datos originales, tabla XXX, ecuación 16.

Tabla L. **Determinación de la fibra ácido detergente en el afrecho**

FIBRA ACIDO DETERGENTE				
No, Muestra	Peso de la muestra [g]	Peso del crisol vacío [g]	Peso después del horno [g]	Fibra detergente neutro [por ciento]
1	1,0051	29,7663	29,9975	23,00
2	1,0209	30,1293	30,3888	25,42
3	1,0002	42,9441	43,1647	22,06
4	0,9744	36,0521	36,2534	20,66
5	0,9881	35,8603	36,1148	25,76
6	0,9527	34,7941	34,9903	20,59

Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), anexo 3, tabla XXXI, ecuación 17.

Tabla LI. **Determinación de la proteína en la harina de afrecho**

PROTEINA				
No, Muestra	Peso de la muestra [g]	Volumen gastado de titulante [mililitros]	Nitrógeno [por ciento]	Proteína [por ciento]
1	0,251	7,5	4,48	26,10
2	0,2539	7,4	4,37	25,45
3	0,2516	7,6	4,52	26,38
4	0,2513	8,5	5,07	29,54
5	0,2521	8	4,75	27,71
6	0,2508	7,4	4,42	25,77

Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), Anexo 3, tabla XXXII, ecuación 18.

Tabla LII. **Determinación de la grasa cruda en la harina de afrecho**

GRASA CRUDA				
No, Muestra	Peso de la muestra [g]	Peso del crisol vacío [g]	Peso final [g]	Grasa [por ciento]
1	6,5955	74,3484	74,8909	8,23
2	6,3335	75,7635	76,3006	8,48
3	6,0091	76,4091	76,9553	9,09
4	6,0109	77,5689	78,1236	9,23
5	6,7592	75,2354	75,8709	9,40
6	6,7345	76,8934	77,5165	9,25

Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), anexo 3, tabla XXXIII, ecuación 15.

Tabla LIII. **Determinación del contenido de cenizas en el afrecho**

CENIZAS				
No, Muestra	Peso de la muestra [g]	Peso del crisol [g]	Peso final [g]	Cenizas [por ciento]
1	2,0022	13,3962	13,4585	3,11
2	2,0034	16,8212	16,8842	3,14
3	2,0098	18,3423	18,3937	2,56
4	2,0034	17,5472	17,5974	2,51
5	2,0064	19,6935	19,7435	2,49
6	2,0089	23,2527	23,3036	2,53

Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), anexo 3, datos originales, tabla XXXIV, ecuación 20.

4.2. Análisis nutricional en las mezclas enriquecidas

Tabla LIV. Determinación de proteínas en harina de maíz y de soya

PROTEÍNAS				
Muestra	Peso de la muestra [g]	Volumen gastado de titulante [mililitros]	Nitrógeno [por ciento]	Proteína [por ciento]
Harina de maíz blanco	0,2687	2,4	1,34	8,36
Harina de maíz Amarillo	0,261	2,2	1,26	7,89
Harina de soya	0,2701	13,8	7,65	43,70

Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), datos originales tabla XXXII, ecuación 18.

Tabla LV. Determinación de la capacidad de retención de agua

CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA					
No, Muestra	Peso de la muestra [g]	Peso probeta con muestra húmeda [g]	Peso probeta con muestra seca [g]	Peso earlenmeyer después de horno [g]	CRA [g agua/g harina]
1	2,0080	19,5561	15,0231	39,0480	1,36
	2,0001	18,1189	13,6187	38,0871	1,35
2	2,0084	19,4070	15,2804	42,0271	1,15
	2,0084	18,2496	13,8634	41,2902	1,28
3	2,0028	18,1596	13,8935	39,0249	1,22
	2,0117	19,7971	15,6584	39,1969	1,14
4	2,0015	19,4485	15,3108	38,8521	1,13
	2,0026	18,6052	14,1398	39,0510	1,31
5	2,0096	19,9443	15,2638	41,6707	1,40
	2,0197	18,7306	13,9916	42,0469	1,42

Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), datos originales tabla XXXVI, ecuación 23.

Tabla LVI. **Determinación de la capacidad de hinchamiento**

CAPACIDAD DE HINCHAMIENTO					
No, Muestra	Peso del crisol + muestra [g]	Peso crisol vacío [g]	Vo [mililitros]	Vf [mililitros]	CH [mililitros agua / g muestra]
1	8,625	7,5873	2	10,30	8,00
	8,5666	7,4452	2,1	10,50	7,49
2	8,4903	7,385	2,3	10,30	7,24
	8,3406	7,3811	1,9	10,20	8,65
3	8,5995	7,5036	2,2	10,10	7,21
	8,6484	7,531	2,3	10,30	7,16
4	8,9487	7,9866	3	10,40	7,69
	8,9051	7,6193	2,5	10,5	6,22
5	8,4582	7,431	1,9	10,5	8,37
	8,7397	7,5811	2,4	10,5	6,99

Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), Anexo 3, datos originales tabla XXXVII, ecuación 24.

Tabla LVII. **Determinación de la humedad en las harinas enriquecidas**

HUMEDAD				
No, Muestra	Peso de la muestra [g]	Peso crisol vacío [g]	Peso final [g]	Humedad [por ciento]
1	2,0077	16,5444	18,3956	7,79
	2,0184	15,8187	17,6748	8,04
2	2,0189	16,8792	18,7348	8,09
	2,0014	15,9918	17,8353	7,89
3	2,0002	16,6835	18,5261	7,88
	2,0156	15,6327	17,4874	7,98
4	2,0026	15,5664	17,4133	7,77
	2,0237	15,7794	17,6493	7,60
5	2,0039	16,7509	18,6065	7,40
	2,0144	16,6328	18,4987	7,37

Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), Anexo 3, datos originales tabla XXXVIII, ecuación 5-7.

Tabla LVIII. **Determinación de la fibra dietética total en las harinas enriquecidas**

FIBRA DIETÉTICA								
Muestra	Peso de muestra	Crisoles + celite (W1)	Crisol + celite + muestra seca (W2)	Peso muestra proteína	Mililitros HCl	Proteína	fibra Dietética	
AFRECHO	1	1,0637	30,753	31,1858	0,9299	9,60	0,0967	10,30
		1,0214	43,427	44,0878				
	2	1,0468	29,864	30,4109	0,9613	12,20	0,1188	10,89
		1,023	30,37	31,0406				
	3	1,0045	30,261	30,7381	1,0259	13,6	0,1241	12,72
		1,0192	30,613	31,3322				
	4	1,034	43,875	44,4629	1,1061	13,8	0,1168	14,86
		1,028	36,333	37,0197				
	5	1,0072	43,649	44,4873	1,3556	14,7	0,1015	23,84
		1,0171	37,481	38,287				
	B		30,2756	30,6212	0,7940	0,6	0,0071	0,010

Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), anexo 3, datos originales tabla XXXIX, ecuación 13-14.

Tabla LIX. **Determinación de la fibra cruda en las harinas enriquecidas**

FIBRA CRUDA						
No, Muestra	Peso muestra	Peso crisol	Peso final [g]	Peso cenizas	Contenido de cenizas [g]	Fibra cruda
1	1,0067	30,2297	30,2461	30,2307	0,0010	1,53
	1,0034	37,4567	37,4697	37,4596	0,0029	1,01
2	1,0167	29,7681	29,7934	29,7770	0,0089	1,61
	1,0015	38,2365	38,2597	38,2422	0,0057	1,75
3	1,0095	29,3727	29,396	29,3750	0,0023	2,08
	1,0025	35,8965	35,9193	35,8987	0,0022	2,05
4	1,0133	43,3260	43,3501	43,3268	0,0008	2,30
	1,0156	30,2498	30,2733	30,2509	0,0011	2,21
5	1,0206	43,1495	43,1739	43,1496	0,0001	2,38
	1,0576	43,1522	43,1766	43,1528	0,0006	2,25

Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), anexo 3, datos originales tabla XL, ecuación 15.

Tabla LX. **Determinación de la proteína en las harinas enriquecidas**

PROTEINA				
No. Muestra	Peso de la muestra [g]	Volumen gastado de titulante [mililitros]	Nitrógeno [por ciento]	Proteína [por ciento]
1	0,2582	4,5	2,61	16,32
	0,2532	4,7	2,78	17,38
2	0,2595	4,7	2,71	16,96
	0,2513	4,8	2,86	17,88
3	0,2536	4,9	2,89	18,09
	0,2569	4,9	2,86	17,86
4	0,2579	5,1	2,96	18,51
	0,2522	5	2,97	18,56
5	0,2593	5,4	3,12	19,50
	0,2567	5,3	3,09	19,33

Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), anexo 3, datos originales tabla XLI, ecuación 18.

Tabla LXI. **Determinación de la grasa cruda en las harinas enriquecidas**

GRASA CRUDA				
No. Muestra	Peso de la muestra [g]	Peso del crisol vacío [g]	Peso final [g]	Grasa [por ciento]
1	6,7231	76,4562	76,6853	3,41
	6,428	76,4545	76,6765	3,45
2	6,6231	75,0024	75,2566	3,84
	6,0425	75,0004	75,242	4,00
3	6,4299	75,5009	75,768	4,15
	6,1048	75,4999	75,7486	4,07
4	6,3645	75,2365	75,4979	4,11
	6,0866	75,2345	75,5101	4,53
5	6,406	74,35	74,6386	4,51
	6,0948	74,3488	74,6739	5,33

Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), anexo 3, datos originales tabla XLII, ecuación 19.

Tabla LXII. **Determinación del contenido de cenizas en las harinas enriquecidas**

CENIZAS				
Muestra	Peso muestra	Peso del crisol vacío	Peso final	Cenizas
1	2,0004	12,7317	12,7935	3,09
	2,011	12,505	12,5663	3,05
2	2,0093	13,8485	13,9067	2,90
	2,0046	11,7396	11,7979	2,91
3	2,0114	11,9389	11,9966	2,87
	2,002	12,2274	12,2851	2,88
4	2,0076	9,8997	9,9547	2,74
	2,0154	12,542	12,5991	2,83
5	2,0086	17,5469	17,5994	2,61
	2,0034	15,2876	15,3398	2,61

Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), anexo 3, datos originales tabla XLIII, ecuación 20.

4.3. **Análisis biológico**

Tabla LXIII. **Proteína neta en dietas para ratas**

Muestra	Peso	Mililitros HCl	Nitrógeno	Nitrógeno	Proteína	Media
Dieta 1	0,2507	4	2,57	2,53	16,06	15,81
	0,2522	3,9	2,49		15,56	
Dieta 2	0,251	4,2	2,69	2,69	16,84	16,83
	0,2512	4,2	2,69		16,82	
Dieta 3	0,2518	4,4	2,81	2,80	17,58	17,53
	0,2534	4,4	2,80		17,47	
Dieta 4	0,2535	4,7	2,99	2,91	18,66	18,18
	0,2502	4,4	2,83		17,70	
	0,2523	3,50	1,96		12,26	

Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP), anexos 3, datos originales tabla XLV, ecuación 18, elaboración propia.

Tabla LXIV. **Determinación del índice de eficiencia proteica**

Dieta	No. Rata	Proteína ingerida	Prom, Proteína Ingerida	PER	Prom, NPR	
Dieta 1	R1	71,77	73,59	2,38	2,43	
	R2	79,20		2,49		
	R3	70,66		2,45		
	R4	72,72		2,39		
	Dieta 1	R5	61,65	59,20	2,09	1,96
		R6	53,59		1,90	
		R7	57,54		1,88	
		R8	64,02		1,98	
Dieta 2	R9	86,85	78,64	2,44	2,36	
	R10	76,58		2,19		
	R11	73,55		2,41		
	R12	77,59		2,41		
	Dieta 2	R13	72,20	69,34	1,68	1,68
		R14	70,02		1,80	
		R15	66,31		1,66	
		R16	68,84		1,60	
Dieta 3	R17	76,95	83,43	2,09	2,23	
	R18	82,21		2,31		
	R19	87,64		2,25		
	R20	86,94		2,25		
	Dieta 3	R21	71,51	65,64	1,80	1,76
		R22	67,13		1,62	
		R23	63,63		1,84	
		R24	60,30		1,77	
Dieta 4	R25	87,61	84,52	2,31	2,30	
	R26	80,70		2,19		
	R27	86,70		2,49		
	R28	83,06		2,22		
	Dieta 4	R29	73,61	73,11	1,28	1,56
		R30	66,34		1,55	
		R31	79,61		1,82	
		R32	72,89		1,61	

Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP).

Tabla LXV. **Proteína en heces de rata primeras 2 semanas**

Dieta	Rata	Peso	Mililitros hcl	Proteína Heces	Media/dieta	N fecal /100g heces	Media
Dieta 1,	R1	0,2555	6,5	24,26	25,61	3,8822	4,10
	R2	0,2556	6,4	23,88			
	R3	0,2507	7,7	29,29			
	R4	0,2593	6,8	25,01			
	R5	0,2566	6,1	22,67	23,38	3,6277	3,74
	R6	0,2577	7,1	26,28			
	R7	0,2542	5,7	21,39			
	R8	0,2508	6,1	23,20			
Dieta 2,	R9	0,2522	4,6	17,40	21,05	2,7833	3,37
	R10	0,2532	6,2	23,35			
	R11	0,2518	5,4	20,45			
	R12	0,2531	6,1	22,99			
	R13	0,2567	5,7	21,18	21,87	3,3885	3,50
	R14	0,2530	5,8	21,86			
	R15	0,2562	5,9	21,96			
Dieta 3	R17	0,2575	5,1	18,89	19,45	3,0224	3,11
	R18	0,2512	5,1	19,36			
	R19	0,2552	5,3	19,81			
	R20	0,2514	5,2	19,73			
	R21	0,2569	5,2	19,31	19,90	3,0888	3,18
	R22	0,2532	5,3	19,96			
	R23	0,2531	5,0	18,84			
	R24	0,2575	5,8	21,48			
Dieta 4,	R25	0,2579	4,7	17,38	17,66	2,7810	2,83
	R26	0,2512	4,4	16,71			
	R27	0,2576	4,8	17,77			
	R28	0,2537	5,0	18,80			
	R29	0,2523	5,5	20,79	19,15	3,3266	3,06
	R30	0,2565	4,9	18,22			
	R31	0,2566	4,9	18,21			

Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP).

Tabla LXVI. **Determinación de la digestibilidad verdadera de las dietas en ratas durante las primeras 2 semanas**

Dieta	Rata	Heces total (g)	G N en heces	Alimento ing,	Por			Media Dig,
					ciento N Dieta	14 días N ing,	Dig, Aparente	
Dieta 1,	R1	12,4962	48,512	196	2,529	495,73	90,21	91,12
	R2	10,8961	41,633	219		553,91	92,48	
	R3	9,5386	44,707	205		518,50	91,38	
	R4	11,4408	45,784	189		478,03	90,42	
	R5	9,7053	35,207	182		460,32	92,35	90,75
	R6	9,5598	40,197	154		389,50	89,68	
	R7	13,2871	45,465	184		465,38	90,23	
	R8	13,1394	48,767	208		526,08	90,73	
Dieta 2	R9	18,8362	52,427	244	2,693	657,08	92,02	91,30
	R10	15,5075	57,941	212		570,91	89,85	
	R11	13,9589	45,681	197		530,51	91,39	
	R12	12,9471	47,617	219		589,76	91,93	
	R13	14,1634	47,992	189		508,97	90,57	90,40
	R14	15,0755	52,739	189		508,97	89,64	
	R15	13,5866	47,746	192		517,05	90,77	
Dieta 3	R17	14,8155	44,777	195	2,804	546,87	91,81	91,33
	R18	16,1186	49,938	211		591,74	91,56	
	R19	18,1286	57,453	224		628,20	90,85	
	R20	16,6342	52,504	210		588,94	91,08	
	R21	14,7146	45,450	199		558,09	91,86	91,54
	R22	14,4034	46,007	192		538,46	91,46	
	R23	12,8875	38,850	177		496,39	92,17	
Dieta 4	R25	23,8031	66,196	196	2,908	570,00	88,39	90,31
	R26	17,8802	47,792	219		636,89	92,50	
	R27	20,1997	57,437	205		596,18	90,37	
	R28	18,2596	54,915	189		549,64	90,01	
	R29	16,6372	55,345	182		529,29	89,54	90,26
	R30	14,4474	42,116	154		447,86	90,60	
	R31	18,7106	54,522	184		535,10	89,81	

Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP).

Tabla LXVII. Proteína en heces de rata en la cuarta semanas

Dieta	Rata	Peso	Mililitros HCl	Proteína Heces	Media/dieta	N fecal/100g de heces	Media
Dieta 1,	R1	0,2549	6,1	22,61	22,96	3,6184	3,67
	R2	0,2503	6,1	23,03			
	R3	0,2527	6,3	23,56			
	R4	0,2507	6,0	22,62			
	R5	0,2526	6,8	25,44	25,72	4,0703	4,11
	R6	0,2500	6,5	24,57			
	R7	0,2460	6,9	26,51			
	R8	0,2510	7,0	26,35			
Dieta 2,	R9	0,2524	4,7	17,60	20,35	2,8155	3,26
	R10	0,2496	6,1	23,09			
	R11	0,2525	5,1	19,09			
	R12	0,2535	5,8	21,62			
	R13	0,2524	5,3	19,84	22,80	3,1750	3,65
	R14	0,2489	6,5	24,68			
	R15	0,2491	6,4	24,28			
	R16	0,2447	5,8	22,40			
Dieta 3	R17	0,2567	5,2	19,14	19,54	3,0629	3,13
	R18	0,2455	5,6	21,56			
	R19	0,2501	5,1	19,27			
	R20	0,2492	4,8	18,20			
	R21	0,2508	5,8	21,85	19,75	3,4967	3,16
	R22	0,2472	4,7	17,97			
	R23	0,2493	4,7	17,82			
Dieta 4,	R25	0,2516	5,0	18,78	19,43	3,0048	3,11
	R26	0,2465	5,3	20,32			
	R27	0,2499	4,6	17,39			
	R28	0,2493	5,6	21,23			
	R29	0,2480	5,1	19,43	19,48	3,1094	3,12
	R30	0,2455	4,9	18,86			
	R31	0,2408	4,9	19,23			

Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP).

Tabla LXVIII. **Determinación de la Digestibilidad verdadera de las dietas en ratas durante la cuarta semana**

Dieta	Rata	Heces total (g)	G N en heces	Alimento ing,	Por ciento N de Dieta	14 días N ing,	Dig, Aparente	Media Dig,
Dieta 1,	R1	13,303	48,136	196	2,5292	258	2,5292	92,75
	R2	14,598	53,783	219		282		
	R3	11,217	42,286	205		242		
	R4	13,570	49,107	189		271		
	R5	9,262	37,702	182		208		92,36
	R6	8,230	32,356	154		185		
	R7	8,503	36,064	184		180		
	R8	10,126	42,697	208		197		
Dieta 2	R9	21,644	60,939	244	2,6930	312	2,6930	92,27
	R10	16,482	60,904	212		253		
	R11	15,821	48,318	197		250		
	R12	16,007	55,376	219		272		92,96
	R13	10,057	31,932	189		200		
	R14	13,127	51,835	189		217		
	R15	9,355	36,343	192		192		
Dieta 3	R17	14,671	44,937	195	2,8045	244	2,8045	92,80
	R18	15,036	51,858	211		258		
	R19	19,430	59,900	224		276		
	R20	20,126	58,615	210		286		93,25
	R21	11,418	39,927	199		209		
	R22	9,893	28,442	192		200		
	R23	14,507	41,353	177		186		
Dieta 4	R25	21,898	65,800	196	2,9082	287	2,9082	92,07
	R26	18,950	61,606	219		248		
	R27	21,831	60,760	205		279		
	R28	16,600	56,381	189		249		91,87
	R29	13,422	41,734	182		181		
	R30	14,007	42,273	154		182		
	R31	16,989	52,272	184		226		

Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP).

4.4. Análisis Estadístico

Tabla LXIX. Análisis de varianza entre la mezcla 1 y mezcla 2

Análisis nutricional

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Fila 1	2,00	15,91	7,95	0,00
Fila 2	2,00	21,19	10,60	0,17
Fila 3	2,00	2,95	1,47	0,08
Fila 4	2,00	5,97	2,99	0,01
Fila 5	2,00	34,27	17,13	0,16
Fila 6	2,00	7,35	3,67	0,12
Fila 7	2,00	133,56	66,78	0,95
Fila 8	2,00	136,50	68,25	0,46

Fuente: ecuación no. 22 - 25, tabla XV ANOVA

Análisis de aceptabilidad

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Fila 1	2	16	8	2
Fila 2	2	12	6	2
Fila 3	2	15	7,5	0,5
Fila 4	2	14	7	2
Fila 5	2	13	6,5	4,5
Fila 6	2	14	7	8
Fila 7	2	11	5,5	4,5
Fila 8	2	13	6,5	4,5
Fila 9	2	11	5,5	0,5
Fila 10	2	12	6	8

Fuente: ecuación no. 22 - 25, tabla XV ANOVA

Tabla LXX. **Análisis de varianza entre la mezcla 1 y mezcla 3**

Análisis nutricional

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Fila 1	2,00	15,85	7,92	0,00
Fila 2	2,00	23,02	11,51	2,92
Fila 3	2,00	3,34	1,67	0,32
Fila 4	2,00	5,94	2,97	0,02
Fila 5	2,00	34,82	17,41	0,63
Fila 6	2,00	7,54	3,77	0,23
Fila 7	2,00	132,50	66,25	2,95
Fila 8	2,00	135,84	67,92	1,33

Fuente: ecuación no. 22 - 25, tabla XV ANOVA

Análisis de aceptabilidad

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Fila 1	2	16	8	2
Fila 2	2	15	7,5	0,5
Fila 3	2	16	8	0
Fila 4	2	13	6,5	0,5
Fila 5	2	14	7	2
Fila 6	2	17	8,5	0,5
Fila 7	2	14	7	0
Fila 8	2	16	8	0
Fila 9	2	13	6,5	0,5
Fila 10	2	16	8	0

Fuente: ecuación no. 22 - 25, tabla XV ANOVA

Tabla LXXI. **Análisis de varianza entre la mezcla 1 y mezcla 4**

Análisis nutricional

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Fila 1	2,00	15,61	7,80	0,03
Fila 2	2,00	25,17	12,58	10,40
Fila 3	2,00	3,52	1,76	0,48
Fila 4	2,00	5,86	2,93	0,04
Fila 5	2,00	35,39	17,69	1,43
Fila 6	2,00	7,75	3,87	0,39
Fila 7	2,00	131,88	65,94	4,65
Fila 8	2,00	135,40	67,70	2,13

Fuente: ecuación no. 22 - 25, tabla XV ANOVA

Análisis de aceptabilidad

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Fila 1	2	17	8,5	0,5
Fila 2	2	13	6,5	0,5
Fila 3	2	16	8	0
Fila 4	2	13	6,5	0,5
Fila 5	2	16	8	0
Fila 6	2	17	8,5	0,5
Fila 7	2	15	7,5	0,5
Fila 8	2	17	8,5	0,5
Fila 9	2	14	7	2
Fila 10	2	16	8	0

Fuente: ecuación no. 22 - 25, tabla XV ANOVA

Tabla LXXII. **Análisis de varianza entre la mezcla 1 y mezcla 5**

Análisis nutricional

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Fila 1	2,00	15,30	7,65	0,14
Fila 2	2,00	34,14	17,07	91,62
Fila 3	2,00	3,58	1,79	0,55
Fila 4	2,00	5,68	2,84	0,11
Fila 5	2,00	36,26	18,13	3,29
Fila 6	2,00	8,35	4,18	1,11
Fila 7	2,00	130,82	65,41	8,45
Fila 8	2,00	134,40	67,20	4,69

Fuente: ecuación no. 22 - 25, tabla XV ANOVA

Análisis de aceptabilidad

Grupos	Cuenta	Suma	Promedio	Varianza
Fila 1	2	12	6	18
Fila 2	2	12	6	2
Fila 3	2	10	5	18
Fila 4	2	9	4,5	4,5
Fila 5	2	12	6	8
Fila 6	2	14	7	8
Fila 7	2	11	5,5	4,5
Fila 8	2	15	7,5	0,5
Fila 9	2	14	7	2
Fila 10	2	13	6,5	4,5

Fuente: ecuación no. 22 - 25, tabla XV ANOVA

5. FOTOGRAFÍAS

5.1. Determinación de proteínas



Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), diciembre de 2012.

5.2. Determinación de grasas



Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), enero de 2013.

5.3. Determinación de fibra Cruda



Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), enero de 2013.

5.4. Determinación de Fibra Dietética



Fuente: Centro de Estudios en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Instituto de Investigaciones, Universidad del Valle de Guatemala (UVG), febrero de 2013.

5.5. Análisis biológico



Fuente: Instituto de Nutrición de Centroamérica y Panamá (INCAP), marzo - abril de 2013.

