



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

**DISEÑO DE UN PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE UNA GALLETA A
PARTIR DE HARINA DE TRIGO ENRIQUECIDA CON PARAÍSO BLANCO
(*Moringa oleifera*) Y SU RESPECTIVA EVALUACIÓN NUTRICIONAL**

Luis Ernesto Ruiz Funes

Asesorado por el Dr. José M. Igartuburu y la Inga. Qca. Hilda Palma

Guatemala, noviembre de 2011

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE UN PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE UNA GALLETA A
PARTIR DE HARINA DE TRIGO ENRIQUECIDA CON PARAÍSO BLANCO
(*Moringa oleifera*) Y SU RESPECTIVA EVALUACIÓN NUTRICIONAL**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

LUIS ERNESTO RUIZ FUNES

ASESORADO POR EL DR. JOSÉ M. IGARTUBURU Y LA INGA. HILDA
PALMA

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO QUÍMICO

GUATEMALA, NOVIEMBRE 2011

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	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Juan Carlos Molina Jiménez
VOCAL V	Br. Mario Maldonado Muralles
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. Víctor Manuel Monzón Valdez
EXAMINADORA	Inga. Casta Petrona Zeceña Zeceña
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:

DISEÑO DE UN PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE UNA GALLETA A PARTIR DE HARINA DE TRIGO ENRIQUECIDA CON PARAÍSO BLANCO (*Moringa oleifera*) Y SU RESPECTIVA EVALUACIÓN NUTRICIONAL

Tema que me fuera asignado por la Decanatura de la Facultad de Ciencias, de la Universidad de Cádiz España, con fecha 11 de abril de 2011.



Luis Ernesto Ruiz Funes

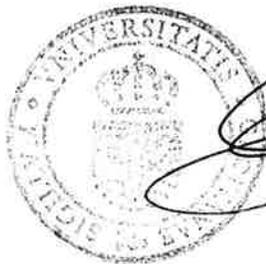
**MIGUEL A. ACOSTA SÁNCHEZ, DIRECTOR DE LA OFICINA DE
RELACIONES INTERNACIONALES DE LA UNIVERSIDAD DE CÁDIZ,**

INFORMA:

Que D. Luis Ernesto Ruiz Funes, estudiante de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala ha sido seleccionado como becario del proyecto de la Universidad de Cádiz “Ingeniería para la cooperación al desarrollo” aprobado en el marco del Programa de Intercambio y Movilidad Académica PIMA que coordina la OEI.

La duración de la estancia será de 5 meses y se desarrollará del 11/03/2011 al 11/09/2011 en la Universidad de Cádiz, quien facilitará al interesado el alojamiento conforme a los criterios y procedimientos previstos en el programa PIMA. La cuantía de la beca es de 4.000 euros.

Cádiz, 24 de enero de 2011.




Carlos Rioja del Río
*Director Adjunto de la Oficina
de Relaciones Internacionales*

José María González Molinillo, Catedrático de Universidad y Director del Departamento de Química Orgánica de la Universidad de Cádiz INFORMA:

Que Don **Luis Ernesto Ruiz Funes** con NIF 443587166 ha realizado una estancia en nuestro departamento desde el 28 de Marzo de 2011 hasta el 16 de septiembre de 2011. Durante dicha estancia ha desarrollado el proyecto fin de carrera "Diseño de un proceso para la obtención de una galleta a partir de harina de trigo enriquecido con paraíso blanco (*Moringa oleifera*) y su respectiva evaluación nutricional" bajo la tutela del profesor Dr. D. José Manuel Igartuburu Chinchilla.

Lo que firmo a petición del interesado en Puerto Real a dieciséis de septiembre de dos mil once.



[Handwritten signature]

Guatemala 22 de Septiembre de 2011

Ingeniero
Williams Guillermo Álvarez
Director de Escuela de Ingeniería Química
Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Álvarez

Por este medio le envío mi dictamen de aprobación del informe final del trabajo de graduación titulado: **“DISEÑO DE UN PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE UNA GALLETA A PARTIR DE HARINA DE TRIGO ENRIQUECIDA CON PARAÍSO BLANCO (*Moringa oleifera*) Y SU RESPECTIVA EVALUACIÓN NUTRICIONAL”**. Trabajo final de graduación que podrá continuar el proceso requerido por el estudiante universitario **LUIS ERNESTO RUIZ FUNES** quien se identifica con carné No. **200714344**, estudiante de la Carrera de Ingeniería Química y es asesorado por mi persona.

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

Atentamente,


Inga. Hilda Palma de Martini 
Colegiada 453 **ESCUELA DE**
Catedrática Universitaria **INGENIERIA QUIMICA**
Tecnología de los Alimentos, Bioingeniería 1
Universidad de San Carlos de Guatemala



El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor de la Universidad de Cádiz, **Dr. José Manuel Igartuburu** y de la asesora de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, **Inga. Hilda Piedad Palma de Martini**; del trabajo de graduación del estudiante **Luis Ernesto Ruiz Funes**, identificado con carné No. 2007-14344 titulado **“DISEÑO DE UN PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE UNA GALLETA A PARTIR DE HARINA DE TRIGO ENRIQUECIDA CON PARAÍSO BLANCO (*Moringa oleifera*) Y SU RESPECTIVA EVALUACIÓN NUTRICIONAL”**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne rigor, coherencia y calidad requeridos. Es importante referir que el trabajo de graduación se realizó en el marco del programa de intercambio académico y movilidad estudiantil de la Facultad de Ingeniería.

Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía; C.Dr.

DIRECTOR

Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, octubre de 2011

C.c: Archivo
WGAM/ale



Facultad de Ingeniería
Decanato

Ref. DTG.465.2011

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: **DISEÑO DE UN PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE UNA GALLETA A PARTIR DE HARINA DE TRIGO ENRIQUECIDA CON PARAÍSO BLANCO (Moringa oleífera) Y SU RESPECTIVA EVALUACIÓN NUTRICIONAL**, presentado por el estudiante universitario **Luis Ernesto Ruiz Funes**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, noviembre de 2011

/cc

“Todo lo puedo en Cristo que me fortalece”

Filipenses 4:13

ACTO QUE DEDICO A:

- Dios** Por ser el pilar fundamental en mi corto caminar. Por siempre estar conmigo a pesar de mis fallos. Es a ti al que dirijo toda mi honra y gloria.
- Mi madre** Liliam Funes, eres una mujer inmejorable, alguien que escucha, que sabe dar un consejo, que abraza cuando uno lo necesita. Gracias por cada segundo suyo invertido en mí, los frutos solo empiezan a llegar.
- Mi padre** José Ruiz, porque siempre te llevare en mi corazón, como un gran hombre que con sus virtudes y defectos hiciste de mi alguien con integridad y moral.
- Mis hermanos** José Miguel Ruiz y José Antonio Ruiz, por ser lo mejor que tengo en este mundo. Porque a pesar de nuestros distintos caracteres, son personas que amo y admiro. Gracias por cada risa, juego, pelea y llanto.
- Mi cuñada** Claudia Cortez, por ser una persona agradable, amable y de buen corazón.
- Mis tías** Ana Funes y Diana Funes, gracias por cada consejo, platica, abrazo, regaño, que han tenido hacia mí, las quiero y agradezco a Dios por tenerlas en mi vida. Porque ustedes son unas segundas mamás para mí.

- Mi abuelo** Miguel Ángel Funes, porque a pesar que emprendiste un largo y eterno viaje, no hay ser en este mundo que admire más que a ti, por tu dedicación, por tu inteligencia, por tu honradez y sinceridad en tu largo caminar.
- Mi abuela** Ana Ramona Castro, porque aunque no te conocí, me diste una madre espectacular, a través de la cual pude saber más de ti, y descubrir la maravillosa mujer que fuiste.
- Mi tío** Rigoberto Funes, por ser un ser humano alegre, gracioso, humilde y sobre todo con una inteligencia que supera fronteras y que por sus sabias ideas este proyecto es lo que es ahora.
- Mis amigos** Zully Solares, Brenda Barrios, Carolina Corzo, Lucrecia Marroquín, Gerardo Izeppi, Jaime Catalán, Héctor Méndez, Marian Giordano, Liliana Cobaquil, Liza Cabrera, Erick Girón, Karina Paredes, Karla Caal, Josué Saim, Alejandra Estrada, Andrea Cerén, Esteban Suastegui, José Lira, Vladimir Pérez, Lissette Serrano, Melissa Godoy, Jenoveva Maldonado, Roberto Cancinos, Jorge Doradea, Doris Vega, Jorge Chavarría, Andrea Barrientos, Luz Figueroa y Beatriz Martínez, porque cada uno de ustedes definen mi significado de amistad. Hemos compartido alegrías, tristezas, resignaciones, llanto y sobre todo han sido un gran apoyo para que esto se vuelva una realidad. Gracias a cada uno de ustedes y nunca olviden que tienen un lugar en mi corazón y mente.

AGRADECIMIENTOS A:

- Dios** Por sus bendiciones concedidas y por fortalecerme en todo momento.
- Mi madre** Liliam Funes, por su dedicación desde la infancia hasta el día de hoy, sin olvidar el sacrificio que conlleva criar un hijo e inculcarle valores éticos y morales. Por trabajar para mí sustento y nunca darse por vencida. La amo.
- Mi padre** José Ruiz, por su esfuerzo incansable por un mejor futuro para sus hijos y que nunca nos hiciera falta nada.
- Mis hermanos** José Miguel Ruiz y José Antonio Ruiz, por confiar en mí, por darme su apoyo, cariño y amistad.
- PIMA** Por darme la oportunidad de realizar mi trabajo de graduación en España, y crecer en gran medida intelectual, cultural y emocionalmente.
- Dr. José M. González** Por admitirme en el Departamento de Química Orgánica de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Cádiz.

- Dr. José Igartuburu** Por su asesoría, sus conocimientos y colaboración en la realización de este proyecto.
- Inga. Hilda Palma** Por su asesoría, colaboración y apoyo incondicional en la realización de este proyecto y siempre creer y confiar en mí.
- Ing. Glenda García** Por ser siempre una persona con dedicación, carisma y sobre todo alguien comprensiva con los estudiantes y que los motiva a seguir en la lucha por ser mejor cada día manteniendo siempre la mente ocupada en el crecimiento intelectual.
- Ing. Otto De León** Por su apoyo, confianza y por transmitir su vasta sabiduría e inculcar el deseo de siempre seguir aprendiendo.
- Ing. Federico Salazar** Por marcar una diferencia como catedrático y siempre enseñar con dedicación y arte. No es para todos el don de enseñar y usted lo tiene de sobra.
- Lisza Cabrera** Por ser una excelente amiga, quien me supo dar consejos cuando más lo necesitaba y escucharme en momentos de tristeza y lejanía de mi hogar.
- Paola Tapia** Por ser la mejor amiga española. Por confiar en mí, por brindarme el apoyo incondicional, por cada una de nuestras experiencias vividas en los últimos meses.

Mis amigos extranjeros Alejandro Santana, Guillermo Guerrero, Francys Fernandez, Antonio Cala, Rubén Marín, Gabriel Mourente, Sandra García, Scott Paradise, Katie McAvoy, Jason Anderson, Chris Frick, Sandra Mayer, Eleni Keramioti, Elson Santiago, Michelli Massaroli, por brindarme su amistad incondicional, compartir buenos momentos y hacerme sentir como en casa.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	XV
LISTA DE SÍMBOLOS	XXI
GLOSARIO	XXIII
RESUMEN.....	XXXI
ABSTRACT	XXXIII
OBJETIVOS.....	XXXV
HIPÓTESIS.....	XXXVII
INTRODUCCIÓN	XXXIX
1. MARCO CONCEPTUAL	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Justificación	5
1.3. Determinación del problema.....	6
1.3.1. Definición	6
1.3.2. Alcances y delimitación.....	6
1.3.2.1. Alcances.....	6
1.3.2.2. Delimitaciones.....	6
2. MARCO TEÓRICO	9
2.1. Paraíso Blanco (<i>Moringa oleifera</i>)	9
2.1.1. Nombre científico.....	9
2.1.2. Nombres comunes	9
2.1.3. Origen y distribución.....	10
2.1.4. Información botánica	11

2.1.4.1.	Familia Moringaceae.....	11
2.1.4.2.	Información botánica <i>Moringa oleifera</i> Lam.....	11
2.1.5.	Información agronómica.....	16
2.1.5.1.	Hábitat	16
2.1.5.2.	Cultivo y propagación	17
2.1.5.2.1.	Propagación por semilla	17
2.1.5.2.2.	Propagación por estaca.....	20
2.1.5.2.3.	Generalidades	20
2.1.6.	Uso de la planta	21
2.1.6.1.	Usos sanitarios	22
2.1.6.2.	Usos farmacológicos.....	23
2.1.6.3.	Usos en agricultura	27
2.1.6.4.	Usos alimenticios.....	27
2.1.6.4.1.	Alimentación humana	27
2.1.6.4.2.	Alimentación animal.....	29
2.1.6.5.	Otros usos.....	29
2.1.7.	Contenido nutricional.....	31
2.1.8.	Producción	32
2.2.	Usos potenciales para la producción de alimentos nutricionalmente mejorados (ANM)	32
2.3.	Toxicidad y contenido químico	35
2.4.	Harina de trigo enriquecida con <i>Moringa oleifera</i>	37
2.4.1.	Análisis de las propiedades nutricionales.....	38
2.4.1.1.	Muestras desnaturalizadas	38
2.4.1.1.1.	Método de extracción Soxhlet.....	39

2.4.1.2.	Separación y cuantificación de las clases de lípidos.....	41
2.4.1.2.1.	Cromatografía	41
2.4.1.2.2.	Cromatografía en capa fina de alta resolución (HPTLC).....	42
2.4.1.2.3.	Densitometría.....	45
2.4.1.3.	Determinación de azúcares y ácidos grasos por GC y GC/MS	45
2.4.1.4.	Determinación de los ácidos grasos de los lípidos de líquenes.....	51
2.4.1.5.	Análisis de fibra alimentaria por el método de Southgate modificado.....	52
2.4.1.6.	Método de Kjeldahl para determinación de proteínas en muestras sólidas.....	56
2.4.1.7.	Determinación de azúcares totales por el método del fenol – sulfúrico.....	60
2.4.1.8.	Determinación de azúcares reductores por el método del Somogyi – Nelson.....	63
2.4.1.9.	Determinación de azúcares como acetatos de alditol	65
2.4.2.	Análisis sensorial.....	67
2.4.2.1.	Tecnología e ingeniería alimentaria	
	De la galleta	69
2.4.2.1.1.	Materia prima	71
2.4.2.1.2.	Aditivos alimentarios	73
2.4.2.1.3.	Empaquetado.....	73
2.4.2.2.	Escala hedónica.....	74
2.4.2.2.1.	Evaluación hedónica.....	76

2.4.3.	Diseño de la línea de producción	77
2.4.3.1.	Descripción de maquinaria y equipo	78
2.4.3.1.1.	Recepción de productos	79
2.4.3.1.2.	Almacenaje de suministros	79
2.4.3.1.3.	Transportadores de banda	80
2.4.3.1.4.	Descargador	81
2.4.3.1.5.	Lavadora por aspersion de agua.....	81
2.4.3.1.6.	Secador	81
2.4.3.1.7.	Molino de disco.....	82
2.4.3.1.8.	Tamizador.....	82
2.4.3.1.9.	Silos y tolvas.....	83
2.4.3.1.10.	Pesaje.....	83
2.4.3.1.11.	Preparación de suministros	84
2.4.3.1.12.	Carro de transporte.....	85
2.4.3.1.13.	Dosificador.....	85
2.4.3.1.14.	Amasado	85
2.4.3.1.15.	Batido	86
2.4.3.1.16.	Moldes	87
2.4.3.1.17.	Fermentación.....	88
2.4.3.1.18.	Hornos	88
2.4.3.1.19.	Enfriado	89
2.4.3.1.20.	Empaquetadora	90
2.4.3.1.21.	Almacenaje.....	90
2.4.3.1.22.	Producción de la galleta	91
3.	MARCO METODOLÓGICO.....	93
3.1.	VARIABLES	93

3.1.1.	Variables independientes	104
3.1.2.	Variables dependientes	105
3.2.	Delimitación de campo de estudio	110
3.3.	Recursos humanos disponibles	111
3.4.	Recursos materiales disponibles (equipo, material de vidrio, reactivos)	111
3.4.1.	Materia prima y reactivos	112
3.4.2.	Material de vidrio	114
3.4.3.	Equipo	115
3.4.3.1.	Equipo de laboratorio químico	115
3.4.3.2.	Separación y cuantificación de lípidos	115
3.4.3.3.	Determinación de azúcares y ácidos grasos	115
3.4.3.4.	Determinación de los ácidos grasos de los lípidos	116
3.4.3.5.	Análisis de fibra alimentaria por el método de Southgate modificado	116
3.4.3.6.	Determinación de proteínas en Muestras sólidas	116
3.4.3.7.	Determinación de azúcares totales	116
3.4.3.8.	Determinación de azúcares reductores	116
3.4.3.9.	Determinación de azúcares como acetatos de alditol	117
3.4.3.10.	Diseño de una línea de producción	117
3.5.	Técnica cuantitativa	118
3.5.1.	Diseño general	118
3.5.2.	Diseño de una línea de producción para la galleta	119

3.5.3.	Preparación de los procesos a seguir para la evaluación y obtención de una galleta a partir de harina de trigo enriquecida con Paraíso Blanco (<i>Moringa oleifera</i>)	120
3.5.4.	Obtención de la harina de la hoja de Paraíso Blanco (<i>Moringa oleifera</i>)	120
3.5.5.	Preparación de la harina de trigo enriquecida	120
3.5.6.	Análisis de las propiedades nutricionales de la harina de trigo enriquecida	121
3.5.7.	Elaboración de la galleta	121
3.5.8.	Evaluación descriptiva de la galleta por la escala hedónica.....	122
3.6.	Recolección y ordenamiento de la información.....	122
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información.....	124
3.7.1.	Separación y cuantificación de las clases de lípidos por cromatografía en capa fina de alta resolución seguida de exploración densitométrica	125
3.7.1.1.	Extracción de las muestras	125
3.7.1.2.	Análisis de la composición de los lípidos por HPTLC (High Performance Thin Layer Chromatography)	125
3.7.1.3.	Activación de las placas para HPTLC.....	126
3.7.1.4.	Elución o desarrollo de las placas.....	126
3.7.1.5.	Revelado de la placa	127
3.7.2.	Determinación de azúcares y ácidos grasos por GC y GC/MS	127
3.7.2.1.	N-acetilación	127

3.7.2.2.	Metanolisis	128
3.7.2.3.	Nueva <i>N</i> -acetilación	129
3.7.2.4.	Formación de los TMS-derivados.....	129
3.7.3.	Determinación de los ácidos grasos de los lípidos	130
3.7.4.	Análisis de fibra alimentaria por el método de Southgate modificado	131
3.7.4.1.	Extracción con etanol a 70%.....	131
3.7.4.2.	Extracción con agua.....	131
3.7.4.3.	Tratamiento de los extractos acuosos.....	132
3.7.4.4.	Tratamiento del residuo insoluble en agua	133
3.7.4.5.	Tratamiento del residuo tras digestión de Takadiastasa	133
3.7.4.6.	Tratamiento de residuo tras hidrólisis ácida.....	134
3.7.4.7.	Tratamiento del residuo tras hidrólisis al 72%	134
3.7.5.	Método de Kjeldahl para determinación de proteínas en muestras sólidas.....	136
3.7.5.1.	Digestión	136
3.7.5.2.	Destilación.....	136
3.7.5.3.	Valoración	137
3.7.6.	Determinación de azúcares totales por el método de fenol - sulfúrico	137
3.7.6.1.	Preparación de reactivos.....	137
3.7.6.2.	Procedimiento	138
3.7.6.3.	Calibrado.....	138

3.7.7.	Determinación de azúcares reductores por el método de Somogyi - Nelson	141
3.7.7.1.	Preparación de reactivos	141
3.7.7.2.	Procedimiento	142
3.7.7.3.	Calibrado	142
3.7.8.	Determinación de azúcares como acetatos de alditol.....	144
3.7.9.	Evaluación descriptiva de la galleta en base a la escala hedónica	146
3.7.10.	Diseño de una línea de producción para la elaboración de una galleta a partir de la harina de trigo enriquecida.....	147
3.7.11.	Tabla de tabulación de datos	148
3.8.	Análisis estadístico.....	151
3.9.	Plan de análisis de los resultados	155
3.9.1.	Presentación técnica.....	155
3.9.2.	Métodos y modelos de los datos según tipo de variables.....	157
3.9.3.	Programas utilizados para análisis de datos	155
4.	RESULTADOS	157
4.1.	Cuantificación de la clase de lípidos	157
4.2.	Determinación de los ácidos grasos	158
4.3.	Determinación de la fibra alimentaria.....	163
4.4.	Determinación de proteínas	164
4.5.	Determinación de los azúcares totales.....	165
4.6.	Determinación de los azúcares reductores	166
4.7.	Clasificación y cuantificación de la clase de azúcares	167

4.8.	Determinación de la evaluación descriptiva.....	172
4.9.	Determinación de la línea de producción.....	177
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	183
6.	CRONOGRAMA	197
7.	PRESUPUESTO.....	199
	CONCLUSIONES	205
	RECOMENDACIONES.....	207
	BIBLIOGRAFÍA.....	209
	ANEXO	215
	Anexo 1. Tabla de requisitos académicos	215
	Anexo 2. Árbol de problemas	218
	Anexo 3. Diagrama de Ishikawa.....	219
	Anexo 4. Valor nutritivo de <i>M. oleifera</i>	220
	Anexo 5. Composición de aminoácidos de <i>M. oleifera</i>	222
	APÉNDICE.....	225
	Apéndice 1. Preparación de la galleta.....	225
	Apéndice 2. Muestra de cálculo	226
	1. Determinación de ácidos grasos de los lípidos	226
	1.1. Calibrado	226
	1.2. Determinación del factor de respuesta	228
	1.3. Determinación de la concentración de cada ácido graso	228
	1.4. Determinación del porcentaje de ácidos grasos de la concentración total	229

1.5.	Determinación del porcentaje de ácidos grasos de la muestra	229
2.	Determinación de la fibra alimentaria	231
2.1.	Determinación de gomas, mucílagos y sustancias pépticas (GMP)	231
2.2.	Determinación de hemicelulosa	231
2.3.	Determinación de celulosa	232
2.4.	Determinación de lignina	232
3.	Determinación de proteínas.....	233
3.1.	Estandarización de soluciones	233
3.2.	Porcentaje de proteínas en la muestra	233
3.3.	Cuantificación en peso de las proteínas en la muestra.....	234
4.	Determinación de los azúcares totales	235
4.1.	Calibrado	235
4.2.	Determinación de la concentración de azúcares totales	235
4.3.	Determinación de la masa de almidón soluble	236
5.	Determinación de los azúcares reductores.....	237
5.1.	Calibrado	237
5.2.	Determinación de la concentración de azúcares reductores	237
5.3.	Determinación de la masa de almidón insoluble	238
6.	Determinación de los azúcares como acetatos de alditol	239
6.1.	Calibrado	239
6.2.	Determinación del factor de respuesta	239
6.3.	Determinación de la concentración de azúcares.....	240

6.4.	Determinación del porcentaje de azúcares en la concentración total.....	241
6.5.	Determinación del porcentaje de azúcares de la muestra.....	241
7.	Evaluación sensorial descriptiva (Escala Hedónica)	242
7.1.	Factor de corrección	242
7.2.	Suma total de los cuadrados	242
7.3.	Suma de los cuadrados de los tratamientos	242
7.4.	Suma de los cuadrados de los panelistas	243
7.5.	Suma de los cuadrados del error.....	243
7.6.	Total de grados de libertad	243
7.7.	Grados de libertad de los tratamientos	244
7.8.	Grados de libertad de los panelistas.....	244
7.9.	Grados de libertad de los errores	244
7.10.	Promedio de los cuadrados de los tratamientos.....	245
7.11.	Promedio de los cuadrados de los panelistas	245
7.12.	Promedio de los cuadrados de los errores	245
7.13.	Distribución F calculada.....	246
7.14.	Amplitud.....	246
Apéndice 3.	Datos originales	247
1.	Datos originales de la cuantificación de la clase de lípidos	247
2.	Datos originales de la determinación de los ácidos grasos de los lípidos	248
3.	Datos originales de la determinación de azúcares y ácidos grasos	253
4.	Datos originales de la determinación de la fibra alimentaria	254

5.	Datos originales de la determinación de proteínas	256
6.	Datos originales de la determinación de los azúcares totales	257
7.	Datos originales de la determinación de los azúcares reductores	258
8.	Datos originales de la determinación de los azúcares como acetatos de alditol	259
9.	Datos originales de la determinación de la evaluación descriptiva	263
Apéndice 4. Datos calculados		264
1.	Datos calculados de la cuantificación de la clase de lípidos	264
2.	Datos calculados de la determinación de los ácidos grasos de los lípidos	265
3.	Datos calculados de la determinación de la fibra alimentaria	272
4.	Datos calculados de la determinación de proteínas	273
5.	Datos calculados de la determinación de los azúcares totales	274
6.	Datos calculados de la determinación de los azúcares reductores	275
7.	Datos calculados de la determinación de los azúcares como acetatos de alditol	276
8.	Datos calculados de la evaluación descriptiva.....	282
Apéndice 5. Cromatogramas.....		287
1.	Cromatogramas de los ácidos grasos de los lípidos.....	287
2.	Cromatogramas de la determinación de azúcares y ácidos grasos.....	293

3. Cromatogramas de los azúcares como acetatos de alditol.....	305
---	-----

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Ubicación geográfica de los orígenes de la <i>Moringa oleifera</i>	11
2.	Árbol <i>Moringa oleifera</i>	12
3.	Hoja del árbol <i>Moringa oleifera</i>	13
4.	Flor del árbol <i>Moringa oleifera</i>	14
5.	Fruto del árbol <i>Moringa oleifera</i>	14
6.	Semilla del árbol <i>Moringa oleifera</i>	15
7.	Raíz del árbol <i>Moringa oleifera</i>	16
8.	Uso potencial de diferentes partes del árbol de Moringa en la industria y producción de alimentos.....	22
9.	4-(4'-O-acetil- α -L-rhamnopyranosiloxi) Bencil Isotiocianato	24
10.	4-(α -L-rhamnopyranosiloxi) Bencil Isotiocianato.....	24
11.	Bencil Isotiocianato	24
12.	Niacimicina.....	25
13.	Pterygospermina	25
14.	4-(α -L-rhamnopyranosiloxi) Bencil Glucosinolato	26
15.	Equivalencia nutricional de la hoja de <i>Moringa oleifera</i>	29
16.	Equipo de extracción Soxhlet.....	40
17.	Esquema de un cromatógrafo de gases	52
18.	Equipo de destilación Kjeldahl	59
19.	Unidades básicas de un espectrofotómetro UV-vis de haz simple	63
20.	Esquema del concepto actual de la calidad sensorial.....	69
21.	Grupos de pruebas para los ensayos hedónicos	77

22.	Diagrama de flujo del proceso	118
23.	Esquema del análisis de fibra alimentaria por el método de Southgate modificado	135
24.	Recta de calibrado para azúcares totales.....	140
25.	Recta de calibrado para azúcares reductores	144
26.	Evaluación descriptiva de la harina de trigo en forma de galleta.....	172
27.	Evaluación descriptiva de la mezcla 2 en forma de galleta	173
28.	Evaluación descriptiva de la mezcla 3 en forma de galleta	174
29.	Evaluación descriptiva de la mezcla 4 en forma de galleta	175
30.	Evaluación descriptiva del polvo de hoja de <i>Moringa oleifera</i> en forma de galleta	176
31.	Diagrama de flujo del proceso para la obtención de una galleta a partir de harina de trigo fortificada con polvo de hoja de paraíso blanco (<i>Moringa oleifera</i>)	177
32.	Diagrama de equipo del proceso para la obtención de una galleta a partir de harina de trigo fortificada con polvo de hoja de paraíso blanco (<i>Moringa oleifera</i>)	179

TABLAS

I.	Germinación y crecimiento de los brotes de <i>Moringa oleifera</i> a plena luz y media sombra. Sudan, 1986.....	19
II.	Usos populares del árbol <i>Moringa oleifera</i> en Guatemala.....	30
III.	Comparación de la hoja de <i>M. oleifera</i> con otros alimentos	31
IV.	Análisis proximal de las hojas frescas, vainas y semillas de moringa (Valores promedio de diferentes muestras).....	34
V.	Análisis proximal de las vainas frescas y secas de moringa	35

VI.	Mezclas de harina de trigo con polvo de Paraíso Blanco (<i>Moringa oleifera</i>).....	38
VII.	Definición operacional de las variables, para el análisis químico de las propiedades nutricionales de la harina de trigo enriquecida con Paraíso Blanco (<i>Moringa oleifera</i>)	94
VIII.	Definición operacional de las variables, para la evaluación descriptiva de la galleta hecha con la harina de trigo enriquecida con Paraíso Blanco (<i>Moringa oleifera</i>)	102
IX.	Definición operacional de las variables, para el diseño de una línea de producción de galletas a partir de la harina de trigo enriquecida con Paraíso Blanco (<i>Moringa oleifera</i>)	103
X.	Mezclas de harina de trigo con polvo de Paraíso Blanco (<i>Moringa oleifera</i>).....	121
XI.	Datos nutricionales de la hoja fresca y deshidratada del Paraíso Blanco (<i>Moringa oleifera</i>).....	123
XII.	Absorbancia de las disoluciones patrones de glucosa para azúcares totales por el método del fenol - sulfúrico.....	139
XIII.	Absorbancia de las disoluciones patrones de glucosa para azúcares reductores por el método de Somogyi – Nelson	144
XIV.	Determinación y cuantificación de las clases de lípidos	148
XV.	Determinación y cuantificación de los ácidos grasos.....	148
XVI.	Determinación y cuantificación de azúcares.....	149
XVII.	Determinación y cuantificación de la fibra alimentaria	149
XVIII.	Determinación y cuantificación de las proteínas.....	150
XIX.	Datos típicos para el diseño de bloques al azar	152
XX.	Cuantificación de los lípidos presentes en las distintas muestras	157

XXI.	Determinación y cuantificación de ácidos grasos contenidos en la harina de trigo	158
XXII.	Determinación y cuantificación de ácidos grasos contenidos en la mezcla 2	159
XXIII.	Determinación y cuantificación de ácidos grasos contenidos en la mezcla 3	160
XXIV.	Determinación y cuantificación de ácidos grasos contenidos en la mezcla 4	161
XXV.	Determinación y cuantificación de ácidos grasos contenidos en el polvo de <i>Moringa oleifera</i>	162
XXVI.	Porcentajes de la composición de la fibra alimentaria en las distintas mezclas analizadas.....	163
XXVII.	Cuantificación de las proteínas presentes en las mezclas	164
XXVIII.	Contenido de azúcares totales en las distintas mezclas	165
XXIX.	Contenido de azúcares reductores en las distintas mezclas	166
XXX.	Determinación y cuantificación de azúcares contenidos en la harina de trigo.....	167
XXXI.	Determinación y cuantificación de azúcares contenidos en mezcla 2	168
XXXII.	Determinación y cuantificación de azúcares contenidos en mezcla 3	169
XXXIII.	Determinación y cuantificación de azúcares contenidos en mezcla 4	170
XXXIV.	Determinación y cuantificación de azúcares contenidos en el polvo de <i>Moringa oleifera</i>	171
XXXV.	Costos de la materia prima.....	199
XXXVI.	Costos del material y cristalería.....	199
XXXVII.	Costos por uso del equipo.....	201

XXXVIII.	Costos de los reactivos.....	202
XXXVIX.	Costos totales en Euros y Quetzales	204

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
A_m	Absorbancia de la muestra
A_d	Absorbancia del disolvente
A	Absorbancia media
Δ	Calor
R^2	Coefficiente de correlación
.	Coma separadora de millares, millones, etc. Nomenclatura americana
C	Concentración de glucosa (mg/L)
GC	Cromatógrafo de gases
$Y_{a,b}$	Datos obtenidos para cada observación bajo cada tratamiento
S	Desviación muestral
β_i	Efecto del bloque j – ésimo
T_i	Efecto del tratamiento i – ésimo
$\epsilon_{i,j}$	Error aleatorio
MS	Espectros de masas
FA	Fase acuosa
FO	Fase orgánica
GMP	Gomas, mucílagos y sustancias pépticas (%)
m	Masa de la muestra tratada (mg)
μ	Media general
x	Media muestral

N_a	Normalidad de la solución ácida (mol/Kg)
N_b	Normalidad de la solución básica (mol/Kg)
n	Número de muestras
τ_{sa}	Nutrientes determinados para la harina de trigo enriquecida con la hoja seca del árbol Paraíso Blanco (<i>Moringa oleifera</i>) por métodos químicos.
τ_{pa}	Nutrientes determinados para la harina de trigo por métodos químicos.
Y	Promedio total de las observaciones bajo el i, j – ésimo tratamiento
.	Punto separador de decimales. Nomenclatura americana
$Y_{i,j}$	Total de las observaciones bajo el i, j – ésimo tratamientos
T	Valor t student
V_a	Volumen de la solución ácida (mL)
V_b	Volumen de la solución básica (mL)

GLOSARIO

Ácido graso	Son ácidos carboxílicos con cadenas hidrocarbonadas largas (de 4 a 24 átomos de carbono) no ramificadas.
Análisis sensorial	Es una función que la persona realiza desde la infancia y que le lleva, consciente o inconscientemente, a aceptar o rechazar los alimentos de acuerdo con las sensaciones experimentadas al observarlos o ingerirlos.
Azúcares reductores	Un azúcar reductor es un monosacárido o disacárido que puede ceder electrones a otras moléculas y puede, por tanto, actuar como agente reductor.
Azúcares totales	Representan la totalidad de carbohidratos presentes en medios líquidos, extractos, alimentos líquidos y se determinan como azúcares simples, oligosacáridos, polisacáridos y sus derivados.
Celulosa	Es un polímero de glucosa unida en posición β 1-4, sin cadenas laterales.

Cromatografía	Técnica empleada para separar los componentes individuales de una mezcla y, en ciertos casos, para identificar un compuesto comparando su comportamiento cromatográfico con el de sustancias conocidas empleadas como patrón.
Densitométrica	Es una evaluación de un cromatograma de capa fina de alta resolución por un análisis cuantitativo de forma directa o indirecta. Donde lo que se busca es determinar la medida de transmisión, que es la medida de luz transmitida a través de la sustancia y la medida de emisión que es la luz reflejada desde la sustancia.
Escala hedónica	También conocida como pruebas de aceptación se utiliza para evaluar la aceptación o rechazo de un producto determinado.
Espectrofotómetro	Es un instrumento que tiene la capacidad de manejar un haz de radiación electromagnética (REM), comúnmente denominado luz, separándolo para facilitar la identificación, calificación y cuantificación de su energía. Su eficiencia, resolución, sensibilidad y rango espectral, dependerán de las variables de diseño y de la selección de los componentes ópticos que lo conforman.

Extracción Soxhlet	Método utilizado para la extracción de muestras sólidas con disolventes afines a compuestos específicos, generalmente conocida como extracción sólido – líquido o lixiviación.
Fibra alimentaria	Son los componentes de la dieta de origen vegetal, que son resistentes a las enzimas digestivas del hombre y químicamente estaría representado por la suma de los polisacáridos que no son almidones ni la lignina.
Fibra insoluble	Es la fibra insoluble en agua en general representado por la celulosa, gran parte de las hemicelulosas y la lignina.
Fibra soluble	Es la fibra soluble en agua en general representado por pectinas, gomas, mucílagos, ciertas hemicelulosas, polisacáridos de algas y celulosa modificada.
Gomas	Son exudados formados en el sitio de heridas de las plantas, constituyen un grupo complejo de polisacáridos que contienen ácido glucurónico y galacturónico así como xilosa, galactosa y manosa, fundamentalmente.

Hemicelulosa

Son polímeros de pentosas y hexosas, con cadenas laterales en las que se presentan diferentes azúcares y ácidos glucurónicos (existen alrededor de 250 diferentes tipos de hemicelulosas).

HPTLC

Es una de las técnicas cromatográficas más sencillas, llamada cromatografía en capa fina de alta resolución por sus siglas en inglés, HPTLC. Donde existe una fase estacionaria que es una capa fina de un material poroso (gel de sílice, alúmina, etc.) extendida para su manejo mecánico sobre un soporte inerte. La fase móvil es una mezcla de disolventes en diferentes proporciones, que emigra por la fase estacionaria debido, sobre todo, a la capilaridad. En su movimiento, arrastra más o menos a los componentes de una mezcla en función de sus mayores o menores coeficientes de reparto.

Lignina

Es un polímero fenólico, no polisacárido que contiene unidades de fenilpropano derivados de los alcoholes sinapílico, coniferílico y cumarílico.

Lípido

Son biomoléculas orgánicas formadas básicamente por carbono e hidrógeno y generalmente, en menor proporción, también oxígeno. Además ocasionalmente pueden contener también fósforo, nitrógeno y azufre. Es un grupo de sustancias muy heterogéneas que sólo tienen en común la solubilidad en disolventes orgánicos e insolubilidad en agua.

Metanolisis

Reacción que se basa en una hidrólisis en medio ácido de los enlaces glicosídicos de un polisacárido en presencia de metanol.

Método Kjeldahl

Es uno de los análisis químicos más universalmente empleados para la determinación de nitrógeno en muestras sólidas, pues se adapta con facilidad a gran número de muestras, y constituye un método de referencia para determinar el nitrógeno total en cereales, carnes y otros materiales biológicos.

Monosacárido

Son moléculas formadas por una simple cadena de átomos de carbono que tienen un grupo cetónico o aldehídico, y en el resto de los átomos de carbono, tantos grupos hidroxilo como átomos adicionales existan.

Mucílagos	Son fibras solubles, con la propiedad de hincharse con el agua y formar disoluciones coloidales o geles, característica ésta a la que deben la mayoría de sus propiedades y aplicaciones.
<i>N – acetilación</i>	Reacción que por sustitución, conseguirá la introducción de un grupo acetilo en la molécula objetivo.
Polisacárido	Son los carbohidratos más abundantes, son el resultado de la unión de más de 10 unidades de azúcares sencillos, mediante enlaces glucosídico.
Proteínas	Son los principales compuestos nitrogenados que existen en los alimentos. Son moléculas complejas constituidas por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno y, a veces, también otros elementos como azufre, hierro, cobre, fósforo y cinc.
Sustancias pécticas	Son polímeros del ácido metil D – galacturónico. Se encuentran sobre todo en la piel de ciertas frutas.
Transesterificación	Reacción en la cual se intercambia el grupo alcoxi de un éster por otro alcohol.

Tri – Sil

Reactivo utilizado en reacciones de derivatización para obtener compuestos trimetilsilanos (TMS). Se basa en la mezcla de trimetilclorosilano (TMCS) y piridina como reactivos y hexametildisilazano (HMDS) como catalizador.

RESUMEN

En el presente estudio del diseño de un proceso para la obtención de una galleta; se evaluaron una serie de mezclas que comprendían harina de trigo y polvo de la hoja de Paraíso Blanco (*Moringa oleifera*) en distintas proporciones (100:0, 70:30, 50:50, 30:70 y 0:100) en peso respectivamente. Se analizó químicamente el nivel nutricional de cada mezcla, donde fueron evaluados lípidos, ácidos grasos, fibra alimentaria, proteínas, azúcares totales y reductores así como, pruebas de aceptación hechas al producto final como herramienta de introducción al mercado, lo que delimitó y facilitó el diseño de la línea de producción.

Se realizaron pruebas químicas de laboratorio donde fue determinada y cuantificada la clase de lípidos por cromatografía en capa fina de alta definición (HPTLC). Los ácidos grasos y azúcares fueron analizados por cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas. La clasificación de los azúcares totales y reductores se realizó por colorimetría usando métodos espectrofotométricos del fenol – sulfúrico y Somogyi – Nelson respectivamente. La fibra alimentaria valorada por el método de Southgate modificado, consistió en el fraccionamiento de las muestras sólidas en solubles e insolubles así como pruebas gravimétricas para calcular celulosa y lignina.

Las proteínas presentes en las mezclas se cuantificaron por el método de Kjeldahl como amoníaco que se destiló y recogió en una solución ácida para luego ser valorado. La prueba de aceptación, encuesta, fue realizada a partir de la prueba hedónica de 9 puntos, donde las galletas fabricadas a partir de las

harinas de las distintas mezclas se presentaron individualizadas. El catador decidió en base de degustación la calificación otorgada a partir de una escala que variaba desde “gustarle muchísimo” hasta “disgustarle muchísimo”. Paralelamente se diseñó el proceso de producción de las galletas enriquecidas con polvo de Paraíso Blanco (*Moringa oleifera*). El diagrama de flujo del proceso sirvió como base para la estructuración del diagrama de equipo y sus especificaciones.

Mediante los resultados del análisis químico y la prueba de aceptación, se concluyó que la hipótesis alternativa es asertiva, ya que existen diferencias significativas entre la cantidad de nutrientes de la harina de trigo y la harina de trigo enriquecida con Paraíso Blanco (*Moringa oleifera*). También se determinó que de las cinco mezclas evaluadas la mezcla 4 que contiene 30% de harina de trigo y 70% de polvo de hoja de Paraíso Blanco (*Moringa oleifera*) es la que más se adecua a un alimento nutricionalmente mejorado (ANM). Esto es por su alta composición en ácidos grasos insaturados (30.01% de ácido linolénico y 19.34% de ácido linoleico), fibra alimentaria (26.23% de celulosa, 27.13% de hemicelulosa, 13.15% de lignina y 7.28% de gomas, mucílagos y sustancias pépticas), un porcentaje en proteínas del 19.06%, una concentración de 583.22 mg/L de azúcares totales y 98.55 mg/L de azúcares reductores. El valor promedio de la aceptabilidad de dicha mezcla es de 8.30 que equivale en la escala hedónica de 9 puntos a la categoría “me gusta mucho”.

ABSTRACT

This document shows the design of a process for obtaining a biscuit; we evaluated a several mixtures, constituted by wheat flour and lead powder of Paraíso Blanco (*Moringa oleifera*) in different proportions (100:0, 70:30, 50:50, 30:70 and 0:100) by weight, respectively. It analyzed chemically the nutritional level of each mixture, which were evaluated lipids, fatty acids, dietary fiber, protein, total and reducing sugars as well as acceptance tests made to the final product as a tool for market introduction, this test facilitated the design of the production line.

Chemical tests were conducted in laboratory where it was identified and quantified the type of lipid through high performance thin layer chromatography (HPTLC). Fatty acids and sugars were analyzed by gas chromatography-mass spectrometry. The classification of total sugars and reducing sugars was performed by colorimetry using spectrophotometric methods of phenol - sulfuric and Somogyi - Nelson respectively. Dietary fiber assessed by the modified Southgate's method consisted of the fractionation of solid samples in soluble as insoluble as well as gravimetric tests to calculate cellulose and lignin.

The proteins present in the mixtures were measured by the Kjeldahl method, as ammonia which was distilled and collected in an acid solution and then be titrated. Acceptance testing, survey, was conducted from 9-point hedonic scale, where the biscuits made from flours of different mixtures are presented individualized. The taster rating was established on a scale ranging from “extremely pleasant” to “extremely unpleasant”. In parallel, we have

designed the production process of the biscuits with wheat flour and flour of Paraíso Blanco (*Moringa oleifera*). The flowchart of the process served as a basis for structuring the diagram of equipment and their specifications.

Using the results of chemical analysis and acceptance testing, it was concluded that the alternative hypothesis is assertive, as there are significant differences between the amount of nutrients in wheat flour and wheat flour enriched with Paraíso Blanco (*Moringa oleifera*). It was also determined that of the five mixtures tested, the mixture 4 containing 30% wheat flour and 70% leaf powder Paraíso Blanco (*Moringa oleifera*) is the most suitable for a nutritionally enhanced food (NEF). This is due to its high unsaturated fatty acid composition (30.01% linolenic acid and 19.34% linoleic acid), fiber (26.23% cellulose, 27.13% hemicellulose, 13.15% lignin and 7.28% gums, mucilages and substances peptic), 19.06% protein, a concentration of 583.22 mg/L of total sugars and 98.55 mg/L of reducing sugars. The average value of the acceptability of the mixture 4 is 8.30, which equals on 9-point hedonic scale to the category "I like very much."

OBJETIVOS

General

Evaluar el diseño de una línea de producción de una galleta y el valor nutricional a nivel laboratorio de una harina de trigo enriquecida con Paraíso Blanco (*Moringa oleifera*).

Específicos

1. Separar y cuantificar las clases de lípidos por cromatografía en capa fina de alta resolución (HPTLC) seguida de exploración densitométrica en las distintas mezclas hechas de harina de trigo y Paraíso Blanco (*Moringa oleifera*).
2. Determinar la composición en ácidos grasos de los lípidos en las distintas mezclas hechas de harina de trigo y Paraíso Blanco (*Moringa oleifera*).
3. Analizar la fibra alimentaria por el método de Southgate modificado en las distintas mezclas hechas de harina de trigo y Paraíso Blanco (*Moringa oleifera*).
4. Cuantificar las proteínas de las distintas muestras sólidas por el método de Kjeldahl.

5. Determinar los azúcares totales por el método del fenol – sulfúrico en las distintas mezclas hechas de harina de trigo y Paraíso Blanco (*Moringa oleifera*)
6. Determinar los azúcares reductores por el método de Somogyi – Nelson en las distintas mezclas hechas de harina de trigo y Paraíso Blanco (*Moringa oleifera*)
7. Clasificar y cuantificar los azúcares en las distintas mezclas hechas de harina de trigo y Paraíso Blanco (*Moringa oleifera*)
8. Realizar una evaluación descriptiva de la galleta de harina de trigo enriquecida con Paraíso Blanco (*Moringa oleifera*) en base a la escala hedónica.
9. Diseñar una línea de producción para la elaboración de la galleta a partir de la harina de trigo enriquecida.

HIPÓTESIS

Hipótesis científica

La cantidad de nutrientes de la harina de trigo enriquecida está influenciada por la proporción de polvo de hoja del árbol Paraíso Blanco (*Moringa oleifera*).

Hipótesis estadística

- Hipótesis nula (H₀): No existe diferencia significativa entre la cantidad de nutrientes de la harina de trigo y la harina de trigo enriquecida con Paraíso Blanco (*Moringa oleifera*).

$$\tau_{pa} = \tau_{sa}$$

- Hipótesis alternativa (H_a): Existen diferencias significativas entre la cantidad de nutrientes de la harina de trigo y la harina de trigo enriquecida con Paraíso Blanco (*Moringa oleifera*).

$$\tau_{pa} \neq \tau_{sa}$$

Donde:

τ_{pa} : Es la medida de la cantidad de nutrientes determinados para la harina de trigo por métodos químicos.

τ_{sa} : Es la medida de la cantidad de nutrientes determinados para la harina de trigo enriquecida con el polvo de la hoja del árbol Paraíso Blanco (*Moringa oleifera*) por métodos químicos.

INTRODUCCIÓN

La evolución ha formado parte de la historia de la humanidad, encontrándose siempre en constante cambio, desarrollando ideas que se representan en avances tecnológicos. Es así, como el área de alimentos también ha modificado sus procesos de producción, para obedecer las variantes en seguridad y desarrollo alimentario. En la actualidad, los hábitos alimenticios han ido modificándose de tal forma que no se busca solamente que los alimentos proporcionen satisfacción al ser consumidos, sino que contengan propiedades y fortificación en nutrientes que den beneficios extras a la salud de los consumidores.

Siguiendo estas tendencias de alimentación y con la finalidad de obtener un producto de un alimento no tradicional como lo es la hoja de *Moringa oleifera*, con cantidades de nutrientes elevados, que pueden permanecer en los alimentos procesados; se elaboró una serie de mezclas de harina de trigo enriquecida con polvo de hoja de Paraíso Blanco (*Moringa oleifera*), en distintas proporciones en peso.

La moringa se está revelando como un recurso de primer orden con bajo coste de producción para prevenir la desnutrición y múltiples patologías asociada a carencias de vitaminas y elementos esenciales en la dieta. Esta planta figura con futuro prometedor en la industria alimentaria.

El objeto de estudio partió de la influencia en la cantidad de nutrientes que el polvo de hoja del árbol Paraíso Blanco (*Moringa oleifera*) añadiría a la harina

de trigo. Para ello fue necesario realizar un análisis químico a nivel laboratorio de las propiedades nutricionales de cada mezcla. Posteriormente, fue posible preparar un alimento nutricionalmente mejorado (ANM), a partir, de las distintas mezclas hechas, galletas. Se aplicó una evaluación sensorial en panelistas no entrenados determinando la aceptación del producto.

El diseño de la línea de producción para la elaboración de la harina de trigo enriquecida con el polvo de la hoja de *Moringa oleifera* y el producto final que es la galleta, fue estructurado en base a un diagrama de flujo que esquematizó el proceso en general, y dio la pauta para la distribución y especificación del equipo.

Al examinar los resultados se concluyó, que el polvo de hoja de *Moringa oleifera*, enriquece nutricionalmente a la harina de trigo, en función de la proporción en peso agregada de polvo. Además, las galletas son muy aceptadas. Finalmente, se discute el proceso de producción de dichas galletas y se hacen sugerencias para otras investigaciones que se realicen con este árbol a futuro.

1. MARCO CONCEPTUAL

1.1. Antecedentes

En Guatemala las propiedades del árbol *Moringa oleifera* han sido muy poco explotadas, por esta razón la utilización del árbol para muchos es un misterio, a pesar de la cantidad de información que se maneja por distintos entes.

Tal vez el principal factor, ha sido el poco impacto socioeconómico que este árbol ha tenido en el país, ya que su utilización principal es como cerco vivo y sombra para el café en las áreas cálidas, como en el departamento de Petén, Zacapa, Chiquimula, El Progreso, Jutiapa, Santa Rosa, Escuintla, Guatemala, Retalhuleu, San Marcos, entre otros. Entre los principales estudios realizados se encuentran:

- A. El primer análisis realizado en Guatemala, para conocer más afondo del árbol *Moringa oleifera*, fue hecho en Marzo del año 2004, en la Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Este trabajo se titula “Contenido de proteína y aminoácidos, y generación de descriptores sensoriales de los tallos, hojas y flores de *Moringa oleifera* Lamark (Moringaceae) cultivada en Guatemala”, realizado por Karol Beatriz Sanchinelli Pezzarossi.

Este trabajo de graduación partió de la interrogante por conocer más acerca del árbol *Moringa oleifera*, y saber de las partes importantes del árbol, tallo, hoja o flor, cual tiene mayor cantidad de proteínas y aminoácidos. El método de análisis utilizado fue exploratorio descriptivo,

prospectivo. Con esto se procedió a realizar la determinación de proteínas y aminoácidos respectivamente de muestras de hojas, tallos y flores en cantidades específicas.

Las muestras fueron obtenidas de distintos puntos del país con lo que se pretendía evaluar los nutrientes basados en las tierras, cantidad de agua de riego y sol. Luego a las muestras se les realizó una evaluación de la calidad, esto para conocer si presentaban algún compuesto que fuera toxica para el organismo humano, concluyendo al respecto que no hay ninguna sustancia que atente con el consumidor.

Por último se realizó a cada muestra el análisis sensorial. Con todos estos análisis y evaluaciones realizadas se obtuvieron una serie de resultados que en la mayoría concuerdan con datos realizados por otros entes. Llegando a una conclusión principal que refiere que en base a las propiedades organolépticas y a la cantidad y calidad de proteína de la planta de *Moringa oleifera*, en especial de la hoja, la Moringa resulta ser un alimento de gran potencial para ser introducido como un elemento importante en la dieta de los guatemaltecos.

- B.** En el mes de Enero del 2008 en Guatemala, fue publicado un informe realizado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONCYT, Secretaria Nacional de Ciencia y Tecnología, SENACYT, Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología, FONACYT e Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá, INCAP, con el título de “Rendimiento y uso potencial del Paraíso Blanco, *Moringa oleifera* Lam en la Producción de alimentos de alto valor nutritivo para su utilización en comunidades de alta vulnerabilidad alimentario – nutricional de Guatemala”, teniendo como investigadora principal a Norma Carolina Alfaro.

En este proyecto se determinaron las condiciones agroecológicas que requiere la planta de *Moringa oleifera* Lam, su rendimiento en materia verde y su uso posterior como materia prima para la elaboración de alimentos de alto valor nutricional, en cuatro municipios de alta vulnerabilidad alimentario – nutricional. Para proponer alternativas de solución a la problemática planteada, el INCAP ha desarrollado una línea de alimentos nutricionalmente mejorados, tomando como base cereales y leguminosas o alimentos de uso tradicional o autóctono, por lo que con información existente sobre las potencialidades nutricionales de la planta *Moringa oleifera* Lam y su cultivo en Guatemala, se planteó el desarrollo del uso potencial de la planta mencionada como materia prima para la elaboración de alimentos nutricionalmente mejorados o partes comestibles que puedan ser utilizados como fuente de macro y micro nutrientes.

Para ese propósito, primero, se procedió a identificar algunas características agronómicas del cultivo. Para conocer sus características nutricionales, se realizaron análisis fisicoquímicos y nutricionales de hojas y frutos de *Moringa oleifera* Lam para determinar su contenido de macro y micronutrientes con atención en energía, proteína, fibra, vitaminas A y C, hierro y potasio.

En su composición nutricional, la planta también presenta hasta un 30% de proteína en materia seca, alto contenido de carotenos y energía. En hojas existe mayor presencia de nutrientes que en vainas. Entre frutos verdes y maduros, los primeros presentan mejor proporción de nutrientes respecto a las vainas maduras. Respecto a las hojas tiernas y hojas de las partes medias de las ramas, se encontraron mejores contenidos nutricionales en las hojas de las partes medias de las ramas.

En cuanto a la evaluación de la biodigestibilidad de la proteína de *Moringa oleifera* Lam y la biodisponibilidad de sus nutrientes para el ser humano, se realizaron pruebas utilizando animales de experimentación, a los que se les administró dietas de maíz y arroz a las que se adicionó harina de hojas deshidratadas crudas y cocidas, estableciendo que la adición de 5.6% y 3.75% para las dietas de maíz y arroz, respectivamente, favorecen la biodisponibilidad de la proteína (PER).

- C.** En el mes de Marzo del 2008 en Guatemala, fue publicado un informe realizado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, CONCYT, Secretaria Nacional de Ciencia y Tecnología, SENACYT, Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología, FONACYT e Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá, INCAP, con el título de “Uso Potencial de la Moringa (*Moringa oleifera*, Lam) para la Producción de Alimentos Nutricionalmente Mejorados”, teniendo como investigadores a la Licenciada Norma Carolina Alfaro e Ingeniero Walter Martínez.

A través de diversos procesos, se estudió y registró información que permitió establecer características agronómicas del cultivo en diferentes regiones de Guatemala. Además, se verificó la información reportada en la literatura sobre el valor nutritivo de esta planta mediante análisis químico de hojas, vainas y semillas, así como a través de evaluaciones biológicas y sensoriales de los materiales recolectados. Los resultados han dado nuevas evidencias sobre las potencialidades nutricionales de la planta como una alternativa para la producción de alimentos nutricionalmente mejorados que puedan utilizarse en la complementación de alimentación de población vulnerable de la región centroamericana.

En relación a revistas científicas que investigan sobre el árbol *Moringa oleifera*, han sido muy pocas, ya que la mayor parte de ellas hablan sobre la reseña histórica del árbol, sin hondar en la parte científica del árbol.

1.2. Justificación

Muy pocas personas en Guatemala, conocen los beneficios que el árbol *Moringa oleifera* ofrece nutricionalmente con su ingesta.

En este país la utilización del árbol *Moringa oleifera*, se limita al uso en cercos y como sombra para el café en lugares cálidos, como en el departamento de Petén, Zacapa, Chiquimula, El Progreso, Jutiapa, Santa Rosa, Escuintla, Guatemala, Retalhuleu, San Marcos, entre otros.

Por tal razón, surge la necesidad de diseñar un producto con materia prima nacional para consumo, tal es el caso de una galleta elaborada con harina de trigo enriquecida con la hoja seca pulverizada del árbol *Moringa oleifera*.

Se busca determinar la calidad de la galleta, basados en distintos análisis químicos y descriptivos realizados a la harina de trigo enriquecida.

El resultado del presente trabajo tiene una aplicación directa a la salud nutricional de todas las personas de diferentes edades, destacando a los niños de nuestro país. Está basado en los registros nutricionales, ofrecer la galleta como un producto práctico y saludable para comer.

Generando así un impacto socioeconómico en el país para la explotación del árbol *Moringa oleifera* y extender el conocimiento del mismo en la sociedad guatemalteca.

1.3. Determinación del problema

1.3.1. Definición

¿Qué variaciones existen entre la harina de trigo y la harina de trigo enriquecida con Paraíso Blanco (*Moringa oleifera*), para la ingesta humana?

1.3.2. Alcances y delimitaciones

1.3.1.1. Alcances

Esta investigación tomará en cuenta el estudio y análisis de la información referente a las hojas secas del árbol Paraíso Blanco (*Moringa oleifera*), tomando en consideración aquellas variables que actúen como medio para la variación de la formulación del proceso de obtención de la galleta.

1.3.1.2. Delimitaciones

La principal limitante para realizar ésta investigación es la falta de producción del árbol *Moringa oleifera* a escala industrial en Guatemala, por lo tanto la búsqueda de hojas se hace en lugares determinados, donde la afluencia de dicho árbol es pequeña. Además, la falta de conocimiento de la población, sobre los beneficios que este árbol tiene, con lo cual podrían aprovecharlo y generar un impacto socioeconómico, que fortalecería el

comercio interno y externo del país, y así aumentar su producción en Guatemala.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Paraíso blanco (*Moringa oleifera*)

Reino	Plantae
División	Embryophyta
Sub – división	Diplodialia
Clase	Dicotiledoneae
Sub – clase	Archichlamydeae
Orden	Rhoeadales
Familia	Moringaceae
Género	Moringa
Especie	<i>Moringa oleifera</i>

2.1.1. Nombre científico

Moringa oleifera Lam; *M. moringa* Mil.; *M. pterygosperma* Gaerth.

2.1.2. Nombres comunes

Paraíso blanco, acacia, árbol de las perlas, chinto borrego, flor de Jacinto, Jacinto, paraíso de España, paraíso extranjero, paraíso francés, perlas, perlas de oriente, San Jacinto, libertad, árbol de mostaza, teberindo, teberinto, terebinto, árbol rábano picante, maringa calalú, marango, marengo, ejote francés, moringa, sen, mlonge y mzunze, ben nut tree, badumbo, caragüe, marengo, palo jeringa, carague o carango.

En Guatemala se le conoce como: Arango, badumbo, brotón, caragua, caraño, carao, jazmín, marengo, palo blanco, paraíso blanco, tamarindo cimarrón, teberindo, chipilín, sasafrás, tamarindo extranjero, teberinto.

2.1.3. Origen y distribución

Nativa de África oriental y quizás de las Indias orientales, plantado en general en América tropical para el ornamento. Es una planta introducida al país posiblemente el siglo pasado. Se cree que fue llevada de la India y África por los ingleses, introducida al Caribe por los franceses y de allí a Centro América. Crece en las partes más cálidas de Guatemala y se encuentra naturalizada en muchas localidades: Petén, Zacapa, Chiquimula, El Progreso, Jutiapa, Santa Rosa, Escuintla, Guatemala, Retalhuleu, San Marcos, y seguramente en la mayoría de los otros departamentos.

El árbol es originario del noroeste de India, se distribuye ampliamente en Egipto, Filipinas, Ceilán, Tailandia, Malasia, Birmania, Pakistán, Singapur, Las Antillas, Cuba, Jamaica y Nigeria.

Se cultiva comúnmente en los trópicos del viejo mundo; también en el sur de Florida, Las Bahamas y desde el sur de México hasta Perú, Paraguay y Brasil.

En Guatemala es común en la zona basal del Pacífico y Atlántico. Concretamente es cultivada en las partes cálidas del país. Investigaciones efectuadas por el Centro de Estudios Mesoamericanos sobre Tecnología Apropriada (CEMAT) han demostrado que Suchitepéquez es otro departamento donde está ampliamente cultivada.

Figura 1. **Ubicación geográfica de los orígenes de la *Moringa oleifera***



Fuente: Adans. Familia moringaceae.

2.1.4. Información botánica

2.1.4.1. Familia Moringaceae

Familia que comprende árboles de hoja caediza con la corteza gomosa conteniendo aceites. Hojas alternas, dobles o triplemente pinnadas (hoja dividida en folíolos o segmentos), con folíolos opuestos, sin estípulas. Flores en panículas axilares, de color rojo o blanco, irregulares, con 5 sépalos, 5 pétalos, 5 estambres funcionales y numerosas semillas con 3 alas o a veces no aladas.

2.1.4.2. Información botánica *Moringa oleifera* Lam

Un arbusto grande o árbol pequeño y frondoso, rara vez de 10 metros de altura, la corteza blanquecina, el tronco generalmente es espeso e irregular en

tamaño y forma la corona pequeña y densa. El árbol es un diploide verdadero con $2n = 28$ cromosomas. Se ha informado que la madera produce un colorante azul.

Figura 2. **Árbol *Moringa oleifera***



Fuente: Alfaron, Norma Carolina. Rendimiento y uso potencial de Paraíso Blanco, *Moringa oleifera* Lam en la Producción de alimentos de alto valor nutritivo para su utilización en comunidades de alta vulnerabilidad alimentario – nutricional de Guatemala. Guatemala: 2008. Pág. 19.

Las hojas son compuestas, de unos 20 cm de largo, la componen hojuelas delgadas, oblongas u ovaladas de 1 a 2 cm de largo y de color verde claro.

Las flores son bisexuales de color crema, con estambres amarillos, muy numerosas y fragantes, miden de 1 a 1.5 cm de largo y se encuentran agrupadas, compuestas por sépalos lineales o lineal – oblongo, de 9 – 13 mm de largo; los pétalos son algo más grandes que los sépalos. Las flores aparecen principalmente en las épocas de sequía, cuando el árbol suele perder las hojas.

En la India las hojas, vainas y las flores jóvenes se cocinan y comen, de las semillas se obtiene un aceite bueno para el comercio, usado para lubricar las diligencias y otra maquinaria delicada. Siendo inoloro y nunca tornado rancio, se ha encontrado útil en la fabricación de los perfumes.

Figura 3. **Hoja del árbol *Moringa oleifera***



Fuente: El Árbol de la vida (Moringa) una solución para bajar la desnutrición en el mundo.

El fruto formado por tres lígulas en forma triangular y lineal, que dan la apariencia de vaina de 20 – 45 cm de largo, 1 – 2 cm de espesor o grosor, si se corta transversalmente se observa una sección triangular con varias semillas dispuestas a lo largo. Contienen de 12 a 25 semillas por fruto.

Las semillas son redondas, carnosas, cubiertas por una cáscara fina de color café castaño oscuro, poseen tres alas blanquecinas, o semilla halada, de 2.5 – 3 mm de largo. Al quitar la cáscara se encuentra la zona de parénquima donde las paredes celulares tienen numerosos huecos presentando así una apariencia reticulada. Luego aparece una región de fibras que contienen cristales. El endospermo es una capa simple con gotas de aceite y asociado a ésta hay 2 ó 3 capas de células aplanadas. Las células cotiledóneas de

parénquima contienen gotas de aceite, granos de aleurona y algunas veces grupos de cristales. Se producen entre 15,000 y 25,000 semillas/año, por árbol. El peso por semilla es de 0.3 g y el grano para descascarar la razón es de 75:25. Las semillas se emplean en la purificación doméstica de agua e incluso en la industria fitofarmacéutica.

Figura 4. **Flor del árbol *Moringa oleifera***



Fuente: *Moringa oleifera*.

Figura 5. **Fruto del árbol *Moringa oleifera***



Fuente: *Moringa oleifera*.

Figura 6. **Semilla del árbol *Moringa oleifera***



Fuente: *Moringa oleifera*.

El tallo puede alcanzar altura de 1.5 – 2 m antes de que empiece a ramificarse pero puede alcanzar hasta 3 m.

La raíz principal mide varios metros y es carnosa en forma de rábano. Cuando se le hacen cortes, produce una goma de color rojizo parduzco.

El árbol no es ni particularmente atractivo ni aconsejable en el cultivo para el ornamento. Ni el follaje ni las flores son especialmente atractivos. Los árboles viejos y las ramas se rompen fácilmente.

Figura 7. Raíz del árbol *Moringa oleifera*



Fuente: Alfaron, Norma Carolina y Walter Martínez. Uso potencial de la Moringa (*Moringa oleifera*, Lam) para la Producción de Alimentos Nutricionalmente Mejorados. Guatemala: 2008. Pág. 6.

2.1.5. Información agronómica

2.1.5.1. Hábitat

La Moringa tolera un amplio rango de condiciones climáticas y de suelo. Crece en lugares con precipitación que varía desde 250 hasta 3000 mm de lluvia. La planta es propia de las tierras bajas y cálidas cerca de las riberas de los ríos.

Se ha adaptado a condiciones de suelo del trópico húmedo, seco y árido e incluso crece en suelos pesados hasta 1,200 msnm pero a esta altitud no se desarrolla como en las zonas bajas más cálidas.

La planta se adapta a suelos duros o pesados, suelos con poca capacidad de retención de humedad y hasta en aquellos que presentan poca actividad biológica. En términos generales, el terreno donde se planta debe poseer un buen drenaje ya que esta planta no soporta el encharcamiento.

Es un árbol de crecimiento rápido y se ha encontrado que crece hasta 6 – 7 m en un año en las áreas que reciben menos de 400 mm de precipitación anual media.

2.1.5.2. Cultivo y propagación

Es una planta de rápido crecimiento y fácil de propagar, tanto por semilla como por material vegetativo. Se cultiva durante todo el año, pero especialmente durante los meses de Diciembre a Febrero y Julio a Agosto. La Moringa es una planta adaptativa, de fácil cultivo, que se reproduce en cualquier tipo de terreno (alcalinos hasta de pH de 9), clima (tropical con preferencia), altitud (hasta de 2000 msnm).

2.1.5.2.1. Propagación por semilla

La propagación por semilla se realiza tomando en cuenta tres variables importantes, según la experiencia de los agricultores en el campo. Las cuales son:

- Vaina de mayor tamaño,
- Semilla proveniente de la parte central de la vaina que son generalmente las semillas grandes, y
- El brillo de la semilla.

Durante el mes de Agosto se puede empezar a identificar los mejores árboles productores de semilla, según el desarrollo y abundancia de flores. La época de producción de la semilla es a partir de Octubre cuando empieza a madurar, prolongándose hasta el mes de Abril del siguiente año.

La siembra directa – en campo definitivo –, se recomienda siempre y cuando existan condiciones para el control de insectos y la disponibilidad de la semilla sea abundante (50% más de la que se necesite), esto para compensar las pérdidas que puedan existir. En caso contrario, es mejor optar por la preparación de viveros.

Para lograrlo es necesario llenar bolsas de polietileno con un sustrato con 60% de arena y 40% de tierra negra, de tal manera que la textura del suelo sea franco arenoso. Para obtener dicha consistencia puede mezclarse una parte de tierra, una de arena y una de materia orgánica, previamente cernida. Se utilizan bolsas de polietileno de 8 x 12 pulgadas, las cuales deben llenarse evitando espacios de aire o exceso de compactación de la tierra.

Las mejores condiciones para que la germinación se efectúe en 4 a 5 días son: media sombra y clima cálido húmedo. Los árboles producidos a partir de semilla tienen una mayor estabilidad en las estructuras de las raíces y por esta razón pueden sobrevivir más tiempo.

Ensayos indican que se obtiene buena propagación por inmersión de las semillas en agua a temperatura ambiente por 24 horas y siembra en bolsa. Se demuestra que la propagación es posible a 1,000 msnm.

En Guatemala, las mejores semillas de *M. oleifera* se obtienen en plantaciones situadas en Estanzuela, Zacapa, con un peso promedio de 289 mg referido al cotiledón.

Tabla I. **Germinación y crecimiento de los brotes de *Moringa oleifera* a plena luz y media sombra. Sudan, 1986**

Indicador de Desarrollo	Moringa oleifera	
	Plena Luz	Media Sombra
% Germinación (Cada grupo 50 semillas)	78	86
Período de latencia para la mayoría de semillas (días)	15 – 16	15 – 18
Tamaño promedio de los retoños 75 días después de la siembra (cm)	8	16.7
Tamaño máximo de los retoños 75 días después de la siembra (cm)	11	20

Fuente: Alfaron, Norma Carolina. Rendimiento y uso potencial de Paraíso Blanco, *Moringa oleifera* Lam en la Producción de alimentos de alto valor nutritivo para su utilización en comunidades de alta vulnerabilidad alimentario – nutricional de Guatemala. Guatemala: 2008. Pág. 21.

2.1.5.2.2. Propagación por estaca

La propagación por estaca, es mucho más compleja y delicada que la propagación por semilla, esto debido a los cuidados extremos que se tienen que tener, desde el grosor de las estacas que tienen un valor mínimo establecido, 2.5 cm y una longitud no menor de 30 cm. El corte debe realizarse a la altura de una yema, y el tiempo de siembra debe ser justamente antes del inicio de las lluvias. Es muy recomendable que el riego se realizará diariamente y si la temperatura del lugar se eleva, se aconseja mantener los viveros a media sombra.

2.1.5.2.3. Generalidades

En general el árbol *Moringa oleifera*, es muy resistente a las inclemencias del tiempo, beneficiándose de algún riego esporádico, con lo que puede crecer hasta tres metros en el primer año. No es una planta fijadora de nitrógeno.

El árbol es útil para el sistema agroforestal, debido a sus características de crecimiento rápido, raíces verticales y profundas, pocas raíces laterales, escasa sombra y alta productividad de biomasa.

Es común el uso en Latinoamérica de este árbol para dar protección a otro tipo de cultivos, como especies herbáceas anuales, o de ciclos corto. Al ser la *Moringa oleifera* un árbol de copa ancha, pero relativamente poco densa cubre y protege un área importante sin proyectar una sombra demasiado densa sobre los otros cultivos.

La leña tiene una densidad de 0.60 g/cm³ y poder calorífico de 4,600 Kcal/Kg. La madera, frágil y blanda tiene uso en la elaboración de carbón vegetal o pulpa de papel. Sensible al viento como árbol solitario, también es utilizado como cerca viva empleando los tallos de las plantas a modo de postes vivos soportando lo diversos elementos de cerramiento: alambres, vallas, etc.

Los subproductos de las semillas aportan nitrógeno. El árbol en flor es una importantísima fuente de néctar para las abejas. Las hojas y tallos jóvenes contienen Zeatina, una hormona vegetal del grupo de las citoquininas.

En relación al pH del suelo, los mejores resultados se han obtenido en suelos de pH neutro o ligeramente ácido. No obstante en zonas con pH incluso superiores a 8.5 lo ha soportado. La temperatura ideal es de 20 a 40 ° C. El árbol crece bien en casi todos los suelos excepto en terrenos arcillosos, siendo el suelo franco arenoso el mejor.

Al mencionar limitaciones en su uso, se puede referir que la planta pierde las hojas en periodos prolongados de sequía severa. Además la madera no sirve para la construcción, es blanda y muy poco resistente. Por la misma razón, el árbol es relativamente sensible a vientos intensos, especialmente si no se poda. Los vientos fuertes deshidratan las hojas, pudiéndola matar. Este árbol no es muy longevo, suele durar hasta 20 años. Las podas son necesarias para estimular y mantener la producción de hojas frescas.

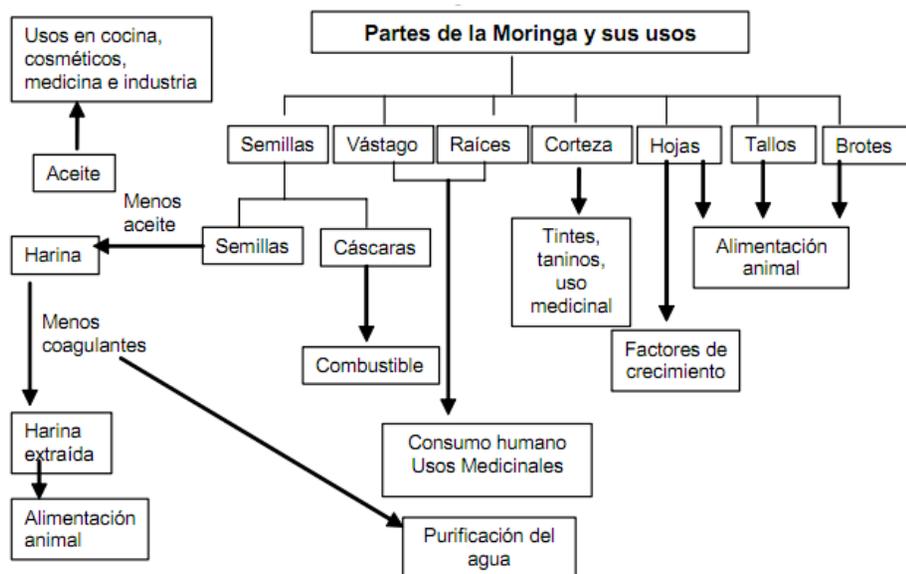
2.1.6. Uso de la planta

La figura 8 esboza los usos importantes de la planta en diversas industrias: cosmética, farmacológica, medicinal, sanitaria, alimentación animal, entre otras.

2.1.6.1. Usos sanitarios

Las semillas contienen ciertos coagulantes naturales que aplicados a dosis de 30 – 200 mg/L de suspensión de polvo de semilla, puede aclarar diferentes tipos de aguas con diversos grados de turbidez, haciendo posible su uso con fines domésticos en 1 – 2 horas. Como la eliminación de la turbidez va acompañada de la suspensión de las bacterias indicadoras de contaminación fecal, se estima que este tratamiento de las aguas domésticas es una tecnología de bajo costo y fácil manejo para potabilidad del agua y mejorar las condiciones sanitarias de las comunidades rurales de los países en desarrollo.

Figura 8. **Uso potencial de diferentes partes del árbol de Moringa en la industria y producción de alimentos**



Fuente: Alfaron, Norma Carolina. Rendimiento y uso potencial de Paraíso Blanco, Moringa oleífera Lam en la Producción de alimentos de alto valor nutritivo para su utilización en comunidades de alta vulnerabilidad alimentario – nutricional de Guatemala. Guatemala: 2008. Pág. 26.

Se deben moler las semillas maduras y envolverlas en algún tipo de tejido que impida que se disgreguen al introducirlas en el agua a purificar. El ingrediente activo es el polielectrolito. Para obtener un kilogramo de este elemento son necesarios unos 100 Kg de semilla. Los niveles de este floculante son menores en época seca.

Por su parte la Guía Latinoamericana de Tecnologías Alternativas en Agua y Saneamiento, manifiesta que es necesario utilizar de 150 a 300 mg de semilla molida por litro de agua turbia moderada.

2.1.6.2. Usos farmacológicos

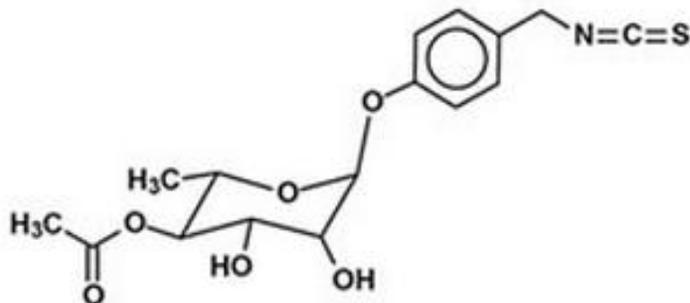
A la planta se le atribuyen múltiples propiedades farmacológicas, tales como antiescorbúticas, antiinflamatorias, antimicrobianas, cicatrizantes, diuréticas, purgantes, rubefacientes, estimulantes, expectorantes, febrífugas y abortivas. Medicinalmente se usan las hojas, corteza, raíces y semilla.

La corteza se usa como antídoto contra picaduras de insectos y veneno de serpientes. Los frutos se consideran como afrodisíacos y la decocción de la raíz se usa contra la viruela. La infusión de la semilla es purgante y laxante. A las flores, hojas y raíz se les atribuye propiedad abortiva.

El aceite de las semillas es utilizado en la fabricación de cosméticos y perfumes, así como en el afinamiento de maquinaria de alta precisión.

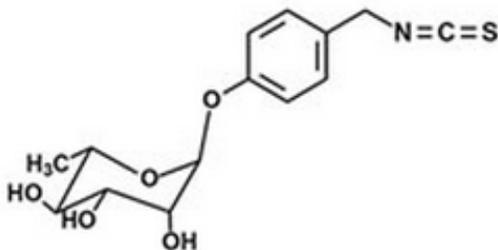
La justificación científica revela que son las siguientes estructuras químicas de los fitoquímicos contenidos en las hojas, frutos y semillas de *Moringa oleifera* los responsables de curar y prevenir las múltiples patologías:

Figura 9. **4-(4'-O-acetil- α -L-rhamnopiranosiloxi) Bencil Isotiocianato**



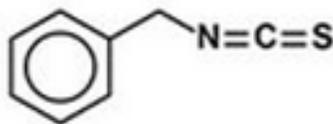
Fuente: Sahjan "Moringa oleifera".

Figura 10. **4-(α -L-rhamnopiranosiloxi) Bencil Isotiocianato**



Fuente: Sahjan "Moringa oleifera".

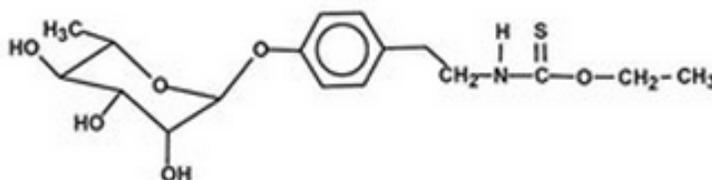
Figura 11. **Bencil Isotiocianato**



Fuente: Sahjan "Moringa oleifera".

Estos *Benciles* son potentes y selectivos inhibidores de la carcinogénesis inducida por una variedad de carcinógenos químicos. Estos efectos parecen estar mediados a través de la modificación favorable de la fase I y II de las enzimas implicadas en el metabolismo carcinógeno.

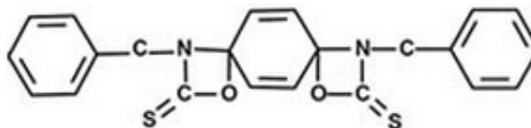
Figura 12. **Niacimicina**



Fuente: Sahjan "Moringa oleifera".

Tienen una actividad hipotensora y ha sido comprobado como un agente anti-tumor.

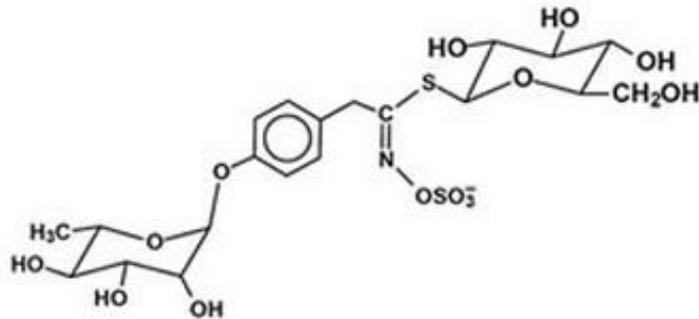
Figura 13. **Pterygospermina**



Fuente: Sahjan "Moringa oleifera".

Tiene el principio antibiótico efectivo contra las bacterias.

Figura 14. **4-(α -L-rhamnopyranosiloxi) Bencil Glucosinolato**



Fuente: Sahjan "Moringa oleifera".

Contenidos en las hojas y las semillas de moringa regulan el azúcar en la sangre, ayuda a normalizar el colesterol en la sangre, y tratar la diarrea además tiene fama de ser afrodisíaco.

La Zeatina, dihidrozeatina, Kaempferol, *Beta – sitosterol* y *isopentiladenina* son citoquininas, una clase de sustancias que promueven el crecimiento y la división celular de los tejidos (hormonas vegetales). Tienen potentes efectos anti-envejecimiento en el cuerpo humano y la piel, impidiendo la muerte y el deterioro celular y promueven la absorción de nutrientes.

Actúan como un antihistamínico, reducen la inflamación asociada con algunas formas de artritis, y son también poderosos antioxidantes que trabajan para proteger las células de partículas dañinas conocidas como radicales libres

Además ayudan a la absorción del exceso de colesterol y también para proteger a las células frente a las mutaciones.

El Kaempferol tiene potentes propiedades antioxidantes, se encuentra en las hojas, semillas y vainas. Se ha demostrado inhibir el crecimiento de las células tumorales. El *Beta-sitosterol* es también una hormona que ayuda a estimular el sistema inmunológico.

2.1.6.3. Usos en agricultura

Las hojas tienen efecto bactericida y fungicida contra *Pythium debangemum* (hongos que atacan a las plántulas pequeñas). Se ha identificado en las semillas un compuesto que tiene una acción bactericida.

Las hojas son muy útiles en la producción de bio – gas. También de la corteza se extrae una goma con varias aplicaciones. De esta goma y de la corteza en sí también se extraen taninos, empleados en la industria del curtido de pieles.

Por su facilidad de siembra es usada para cercos vivos y por su rápido crecimiento es útil para la reforestación de terrenos y cuencas.

2.1.6.4. Usos alimenticios

2.1.6.4.1. Alimentación humana

La Moringa se está revelando como un recurso de primer orden y bajo coste de producción para prevenir la desnutrición y múltiples patologías, como la ceguera infantil, asociadas a carencias de vitaminas y elementos esenciales en la dieta.

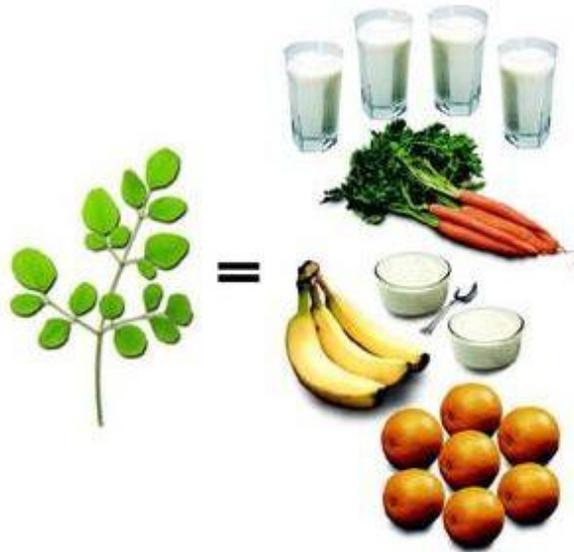
La mayoría de las partes de la planta son comestibles. Las raíces gruesas y carnosas tienen un sabor parecido al maní. La semilla de moringa contiene un 35% de aceite. Es un aceite de muy alta calidad, poco viscoso, dulce y nunca desarrolla rancidez, con un 73% de ácido oleico, de calidad por tanto similar al aceite de oliva. Este aceite es principalmente empleado en la mecánica y materiales artísticos además se está empezando a usar en la industria de perfumes y belleza.

Las hojas de Moringa poseen un porcentaje superior al 25% de proteínas, esto es similar al contenido en el huevo, o el doble que la leche, cuatro veces la cantidad de vitamina "A" de las zanahorias, cuatro veces la cantidad de calcio de la leche, siete veces la cantidad de vitamina "C" de las naranjas, tres veces más potasio que los plátanos, cantidades significativas de hierro, fósforo y otros elementos. Y son generalmente consumidas crudas en ensaladas, en caldos o en polvo como sazónador de comida.

Los frutos, o vainas verdes, inmaduras se consumen cocidas. Las vainas tiernas son comestibles y se usan en sopa, o se preparan a manera de espárrago. Las semillas maduras se tuestan y consumen como nueces, siendo su sabor dulce, ligeramente amargo y agradable. Las flores ricas en carbohidratos, aparecen en general en épocas de sequía, cuando el árbol pierde sus hojas y son consumidas en ensalada o cocinadas con huevo resultan un platillo exquisito.

La actividad de coagulación de la leche por medio del extracto acuoso de las semillas, ha mostrado evidencias para sugerir que podría utilizarse para la preparación de quesos. Puede además utilizarse en la clarificación de la miel y el jugo de caña de azúcar.

Figura 15. **Equivalencia nutricional de la hoja de *Moringa oleifera***



Fuente: Sociedad colombiana de moringa “Fullmoringa”.

2.1.6.4.2. Alimentación animal

Para la alimentación animal, las hojas de Moringa constituyen uno de los forrajes más completos que se puedan imaginar. Muy ricas en proteínas, vitaminas y minerales y con palatabilidad excelente, las hojas son ávidamente consumidas por todo tipo de animales: Rumiantes, camellos, cerdos, aves, incluso carpas, tilapias y otros peces herbívoros.

2.1.6.5. Otros usos

En Guatemala se han realizado evaluaciones integrales de la aplicación de *M. oleifera* con el apoyo de distintas entidades no gubernamentales, reportando los siguientes usos populares de la planta en Guatemala.

Tabla II. Usos populares del árbol *Moringa oleifera* en Guatemala

Uso	Parte	Observaciones (Formas de Uso)
Uso general		
Alimento humano	Flor	Envuelta en huevo
Alimento animal	Hoja/cogollos/vaina	Alimento de cerdos, caballos, etc.
Cerco/Poste vivo	Planta entera	Usado como cerco vivo
Jabón	Tronco	Ceniza del tronco cocida con cal
Adorno	Flores	Altars, floreros, etc.
Plaguicida	Hojas	Ahuyenta el gorgojo del maíz
Melífera	Flores	Atrae las abejas para producir miel
Leña	Tronco	Buena madera para encendido
Construcción	Madera	Madera suave para construcción
Uso médico		
Granos	Hojas/cogollos	Horchata/cocimientos para uso local
Manchas	Hojas	Cataplasma
Cólicos digestivos	Hojas	Horchata
Diarrea	Cogollos	Infusión
Fiebre	Semillas	Cocimiento para baños
Gripe/resfrío	Vaina	Cocimiento para uso oral
Reumatismo	Cogollos	Cocimiento para baños
Dolor de cabeza	Semillas/hojas	Horchata/cocimiento para uso oral
Infección ocular	Cogollos	Saturación de uso local externo

Fuente: Alfaron, Norma Carolina. Rendimiento y uso potencial de Paraíso Blanco, *Moringa oleifera* Lam en la Producción de alimentos de alto valor nutritivo para su utilización en comunidades de alta vulnerabilidad alimentario – nutricional de Guatemala. Guatemala: 2008. Pág. 29.

2.1.7. Contenido nutricional

Dentro de sus múltiples características está el valor nutricional y la versatilidad de nutrientes que aporta como alimento de origen vegetal.

En el anexo 4 se presenta el contenido de macronutrientes y micronutrientes de la *M. oleifera*, en el anexo 5 los aminoácidos.

En la tabla III se comparan el contenido de los nutrientes de la hoja de *Moringa oleifera* en comparación con otros alimentos. Las comparaciones están basadas para cada 100 gramos de parte comestible y las recomendaciones dietéticas diarias para una persona adulta por día.

Tabla III. Comparación de la hoja de *M. oleifera* con otros alimentos

Nutriente	Hojas de <i>M. oleifera</i>	Zanahoria	Naranja	Leche de vaca	RDD (Adulto/día)
Caroteno (mcg)	6780	2813	7	28	1 00
Vitamina C (mg)	220	6	42	1	60
Calcio (mg)	440	32	43	152	500
Proteína (g)	6.7	0.8	0.7	3.3	0.8 g/Kg

Fuente: Sanchinelli Pezzarossi, Karol Beatriz. "Contenido de proteína y aminoácidos, y generación de descriptores sensoriales de los tallos, hojas y flores de *Moringa oleifera* Lamark (Moringaceae) cultivada en Guatemala". Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, 2004. Pág. 21.

RDD = Recomendaciones dietéticas diarias del INCAP.

El porcentaje de proteína cruda que es cuantificado para las hojas secas y húmedas de *M. oleifera* es de 43.5 y 24.4 gramos respectivamente. La digestibilidad de la proteína de las hojas de la moringa oscila entre 74 – 75% y la energía metabolizable es entre 9.2 – 9.5 MJ/Kg.

2.1.8. Producción

La producción hoy en día tiene como principales inversionistas a organizaciones humanitarias del mundo, que usan la Moringa para combatir la extrema desnutrición y el hambre.

La comercialización de la planta es escasa, debido a conflictos de intereses de distinto sectores.

Su consumo esta enfatizado a la población con problemas alimentarios, desnutrición. Sin embargo el árbol no ha sido sembrado adecuadamente por los agricultores, y los esfuerzos de la industria y la investigación son incipientes.

Debido a su versatilidad y adaptabilidad, el árbol de *Moringa oleifera* está ganando campo en el cultivo alimenticio en el mundo.

2.2. Usos potenciales para la producción de alimentos nutricionalmente mejorados (ANM)

La moringa se está revelando como una planta con futuro prometedor en la industria alimentaria, así como en el combate de la desnutrición de distintos sectores de la población, esto por su elevada riqueza nutricional y elementos que son indispensables en la ingesta diaria.

Estudios anteriores sobre análisis del valor nutricional y usos alimenticios de las hojas, vainas y semillas, indican valores de macro y micronutrientes que la caracterizan como una fuente alimentaria de proteínas, grasa, calcio, potasio, hierro, carotenos, vitamina C, entre otros; y por lo tanto, también como una fuente energética.

Sus frutos y flores contienen vitaminas A, B y C y proteína. Las semillas tienen entre 30 y 42% de aceite. Los niveles de factores antinutricionales, como taninos y saponinas, son mínimos, prácticamente despreciables y no se han encontrado inhibidores de tripsina ni de lecitina. En materia seca contiene un 10% de azúcares y la energía metabolizable en las hojas es de 9.5 MJ/Kg de materia seca.

El árbol de *Moringa oleifera* es una fuente excepcional de vitaminas A, B y C, así como de minerales (en particular, hierro) y aminoácidos que contienen azufre como la metionina y la cistina.

En general, un análisis proximal (valores por 100 gramos) de las diversas partes de la planta de moringa (hojas, vainas y semillas), demuestra un alto aporte de nutrientes, especialmente proteína, grasa, carbohidratos, energía, minerales y vitaminas, entre las cuales destacan valores significativos de calcio, potasio, hierro, vitamina C y carotenos. En la tabla IV se muestra el contenido nutricional de las hojas frescas, vainas maduras y semillas de la moringa y en la tabla V, se muestra la comparación entre vainas frescas y secas de la moringa.

Tabla IV. **Análisis proximal de las hojas frescas, vainas y semillas de moringa (Valores promedio de diferentes muestras)**

Análisis proximal	Hojas frescas	Vainas	Semillas
Humedad (%)	79.72	75.8	47.2
Proteínas (%)	5.52	7.1	17.5
Grasa (%)	1.46	1.8	15.1
Cenizas (%)	2.12	1.1	2.1
Carbohidratos (%)	11.14	14.3	18.1
Energía (Kcal/100 g)	207.42	226	439
Calcio (mg/100 g)	22.32	2.1	3.4
Potasio (mg/100 g)	11.84	12.8	18.3
Hierro (mg/100 g)	24.26	1.6	7.1
Carotenos (ug/100 g como β – Caroteno)	3,911.52	3,327.7	114.4
Vitamina C (mg/100 g)	109.3	0.1	0.1

Fuente: Alfaron, Norma Carolina y Walter Martínez. Uso potencial de la Moringa (*Moringa oleifera*, Lam) para la Producción de Alimentos Nutricionalmente Mejorados. Guatemala: 2008. Pág. 20.

Para los fines de estudio se elaborara una harina de trigo enriquecida con polvo de hojas de *Moringa oleifera*, con la cual se preparará alimentos nutricionalmente mejorados, una galleta, que será evaluada en base a análisis descriptivos y resultados de evaluación química para conocer el porcentaje de enriquecimiento de nutrientes.

Tabla V. **Análisis proximal de las vainas frescas y secas de moringa**

Análisis determinado	Vainas frescas	Vainas secas
Humedad (%)	83.2	14.2
Proteínas (%)	5.6	20.5
Grasas (%)	0.9	27.2
Cenizas (%)	0.9	2.9
Carbohidratos (%)	9.5	35.2
Energía (Kcal/100 g)	198.9	510.6
Calcio (mg/100 g)	1.0	6.2
Potasio (mg/100 g)	9.4	27.5
Hierro (mg /100 g)	1.0	5.4
Carotenos (ug/100 g como β – Carotenos)	2,619.9	343.6
Vitamina C (mg/100 g)	72.2	1.9

Fuente: Alfaron, Norma Carolina y Walter Martínez. Uso potencial de la Moringa (*Moringa oleifera*, Lam) para la Producción de Alimentos Nutricionalmente Mejorados. Guatemala: 2008. Pág. 20.

2.3. Toxicidad y contenido químico

Los compuestos de Moringa, tienen una toxicidad muy baja. En la prueba de toxicidad aguda en ratones, la planta mostró un amplio margen de seguridad.

La planta de Moringa contiene como principios tóxicos benzilo, ácido moríngico y ácido cianhídrico. La corteza fresca contiene *beta – sistosterol* y pequeñas trazas de alcaloides.

En algunos textos se menciona la presencia de glucósido cianogénico. Las hojas frescas y machacadas aplicadas a la piel producen ampollas y quemaduras, además se menciona que el principio activo de las raíces es la “espiroquina” que tiene una acción directa sobre el miocardio. Una inyección intravenosa de 0.35 g/Kg, produce parálisis general del sistema nervioso.

La ingestión del fruto en gran cantidad sería tóxica. La toxicidad en varios animales de experimentación es baja. Los cotiledones de la semillas presenta efectos tóxicos por inhibición de la enzima acetilcolinesterasa; el efecto tóxico se cree sea debido a los constituyentes antimicrobianos; sin embargo, se considera que no constituye un riesgo para la salud humana a las concentraciones utilizadas con propósitos nutricionales, medicinales o de purificación de agua.

Estudios de toxicidad crónica demuestran que las semillas molidas administradas por vía oral a ratas durante 6 semanas no producen alteraciones histológicas en 28 órganos examinados de los animales. Estudios sobre toxicidad aguda de la infusión de hojas y semilla no presentó toxicidad aparente en ratones a una dosis de 5 g/Kg de peso.

Por su parte la OIEA, menciona que las hojas no extraídas tenían cantidades insignificantes de taninos (1.4 %) y los taninos condensados no fueron detectables. El contenido de cantidades totales de fenoles era de 3.4 %. Un contenido de fenol total de 2.7 % ha sido informado para las hojas no extraídas. A esta concentración, estos fenoles sencillos no producen efectos adversos cuando comen los animales. En las hojas extraídas, no se detectaron taninos y el contenido de los fenoles fue muy bajo (1.6 %).

2.4. Harina de trigo enriquecida con *Moringa oleifera*

Las hojas de *Moringa oleifera* son un recurso extremadamente valioso de nutrición para personas de cualquier edad. Para niños entre 1 – 4 años, 100 gramos de hoja fresca les provee las necesidades requeridas diarias de Calcio, alrededor de 75% del hierro y la mitad de las proteínas necesarias, también los importantes suplementos como Potasio, complejos de Vitamina B, Cobre y todos los aminoácidos esenciales. Un poco más de 20 gramos de hoja fresca podría proveer a un niño con todas las vitaminas A y C necesarias.

Las hojas de la Moringa se secarán para hacer polvo mediante un molino, que posteriormente será mezclado con harina de trigo. Se tienen que secar en la sombra y en lugar seco, además el polvo se tiene que guardar en bolsas o tambos de plástico que no permitan el paso de luz y que cierren herméticamente porque la luz solar puede destruir la vitamina A. Se estima que del 20 – 40% del contenido de vitamina A se retiene cuando las hojas se secan directamente bajo el sol, pero de 50 – 70% se retiene cuando las hojas se secan en la sombra.

El polvo de las hojas secas se puede usar en lugar de hojas frescas para alimentos nutricionalmente mejorados. La adición de pequeñas cantidades de polvo de moringa no cambiará el sabor de la comida.

El polvo de la hoja seca de *Moringa oleifera* será añadido a la harina de trigo, para obtener una harina de trigo enriquecida. Dicha harina será analizada para establecer el aumento, retención o disminución de sus propiedades nutricionales. En total se prepararán 5 muestras con distintos porcentajes en peso de los componentes originales.

Tabla VI. **Mezclas de harina de trigo con polvo de Paraíso Blanco (*Moringa oleifera*)**

Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4	Mezcla 5
HT 100%/ HP 0%	HT 70% / HP 30%	HT 50% / HP 50%	HT 30% / HP 70%	HT 0% / HP 100%

Fuente: Laboratorio de Alelopatía, Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias, Universidad de Cádiz, España.

HT: Harina de Trigo

HP: Harina de Paraíso Blanco (*Moringa oleifera*)

A cada una de las distintas muestras hechas se le realizará una serie de estudios que incluyen aspectos químicos, físicos y sensoriales para determinar con exactitud sus porcentajes de fibra alimentaria, ácidos grasos, proteínas, azúcares, propiedades organolépticas entre otros. La conclusión final para la determinación de la mejor mezcla se basará en la suma integral de cada aspecto analizado cumpliendo siempre con distintas normas alimenticias.

2.4.1. Análisis de las propiedades nutricionales

La harina enriquecida en las distintas proporciones será sometida a distintos protocolos de experimentación para determinar entre otros Lípidos, Azúcares Totales, Ácidos Grasos, Proteínas, etc.

2.4.1.1. Muestras desnaturalizadas

Las muestras desnaturalizadas, se preparan como una antesala a la evaluación de protocolos de experimentación que buscan determinar ciertas propiedades nutricionales en la harina de trigo enriquecida con polvo de

Moringa oleifera o en el extracto obtenido. Estos análisis se basan en el método de extracción Soxhlet.

2.4.1.1.1. Método de extracción Soxhlet

La extracción de muestras sólidas con disolventes, generalmente conocida como extracción sólido – líquido o lixiviación, es un método muy utilizado en la separación de analitos de muestras sólidas.

Los métodos tradicionales de extracción sólido – líquido pueden dividirse en dos grandes grupos.

- Métodos que necesitan un aporte de calor, Soxhlet y extracción Soxhlet asistida por microondas.
- Métodos que no requieren un aporte de calor: agitación con ultrasonidos y agitación simple.

La extracción Soxhlet ha sido (y en muchos casos, continua siendo) el método estándar de extracción de muestras sólidas más utilizado desde su diseño en el siglo pasado, y actualmente, es el principal método de referencia con el que se comparan otros métodos de extracción. Además de muchos métodos de la EPA (U.S. Environmental Protection Agency) y de la FDA (Food and Drugs Administration) utilizan esta técnica clásica como método oficial para la extracción continua de sólidos. Es conocido como el método 3540C.

En este procedimiento la muestra sólida finamente pulverizada se coloca en un cartucho de material poroso que se sitúa en la cámara del extractor Soxhlet. Se calienta el disolvente orgánico extractante, situado en el matraz, se condensan sus vapores que caen, gota a gota, sobre el cartucho que contiene

la muestra, extrayendo los analitos solubles. Cuando el nivel del disolvente condensado en la cámara alcanza la parte superior del sifón lateral, el disolvente, con los analitos disueltos, asciende por el sifón y retorna al matraz de ebullición.

Figura 16. **Equipo de extracción Soxhlet**



Fuente: Canosa Rodríguez, María del Pilar. Desarrollo de metodología analítica para la determinación de triclosán y parabenos. Aplicación al estudio de su distribución y transformación en muestras ambientales. Universidad de Santiago de Compostela. Facultad de Química. España. Pág. 38.

Las ventajas más importantes de la extracción Soxhlet son el contacto continuo de la muestra con una porción fresca de disolvente, simplicidad, bajo coste de adquisición y la posibilidad de procesar grandes cantidades de muestra.

Dentro de sus limitaciones, se encuentra el tiempo necesario para la extracción y los volúmenes de disolvente, en general muy elevados frente otras técnicas, lo que implica la necesidad de concentrar los extractos orgánicos obtenidos.

2.4.1.2. Separación y cuantificación de las clases de lípidos

Los lípidos son biomoléculas orgánicas formadas básicamente por carbono e hidrógeno y generalmente, en menor proporción, también oxígeno. Además ocasionalmente pueden contener también fósforo, nitrógeno y azufre. Es un grupo de sustancias muy heterogéneas que sólo tienen en común la solubilidad en disolventes orgánicos e insolubilidad en agua.

Las distintas clases de lípidos se separan y cuantifican mediante la utilización de diferentes técnicas cromatográficas, eligiéndose la más adecuada para cada caso en particular. En general y en la investigación a desarrollar el método cromatográfico utilizado es el de capa fina de alta resolución.

2.4.1.2.1. Cromatografía

Las técnicas cromatográficas se emplean para separar los componentes individuales de una mezcla y, en ciertos casos, para identificar un compuesto comparando su comportamiento cromatográfico con el de sustancias conocidas empleadas como patrón.

La base de la técnica es que cuando un determinado soluto interactúa con dos fases, una de ellas, habitualmente sólida, llamada fase estacionaria, experimenta una serie de procesos (adsorción en fase sólida, solubilización en

cada fase, arrastre por la fase móvil, etc.) que, en último extremo, llevan a que el soluto se reparta entre ambas fases. En el equilibrio, la relación entre las concentraciones del soluto entre ambas fases es constante, y se denomina coeficiente de reparto. Si en una mezcla, cada componente tiene un coeficiente de reparto diferente del de los otros, la separación será buena. Naturalmente, dicho coeficiente depende de la naturaleza de las fases, así como de las condiciones de la cromatografía.

El coeficiente de reparto es poco empleado en la práctica. En su lugar, y relacionado con él, se emplea el denominado factor de respuesta, R_f , característico de cada sustancia, definido como la relación entre la distancia que recorre dicha sustancia y la que recorre la fase móvil. Las más insolubles tendrán, en el disolvente empleado, un R_f próximo a cero, mientras las más solubles se acercarán a uno.

2.4.1.2.2. Cromatografía en capa fina de alta resolución (HPTLC)

Una de las técnicas cromatográficas más sencillas es la que se realiza en capa fina, llamada así porque la fase estacionaria es una capa fina de un material poroso (gel de sílice, alúmina, etc.) extendida para su manejo mecánico sobre un soporte inerte. La fase móvil es una mezcla de disolventes en diferentes proporciones, que emigra por la fase estacionaria debido, sobre todo, a la capilaridad. En su movimiento, arrastra más o menos a los componentes de una mezcla en función de sus mayores o menores coeficientes de reparto.

La cromatografía en capa fina de alta resolución (HPTLC) es una forma mejorada de la cromatografía de capa fina (TLC). Una serie de mejoras se

pueden hacer con el método básico de cromatografía en capa fina para automatizar las distintas etapas, para aumentar la resolución alcanzada y para permitir mediciones cuantitativas más precisas.

El proceso se inicia con la colocación de la muestra aplicada en la capa es adsorbida en la superficie del material por la acción de fuerzas electrostáticas (fuerzas de Van der Waals, puentes de Hidrógeno, efectos inductivos, etc). Luego, cuando la capa es expuesta a un flujo por acción capilar, se inicia una competencia de enlaces entre los sitios activos del adsorbente y la sustancia con el solvente.

Los adsorbentes más utilizados en la Cromatografía de Capa Fina son:

- Silica gel (se utiliza en el 80% de las separaciones)
- Óxido de Aluminio ó Alúmina (ácida, neutra ó básica)
- Tierra Silíceo ó Kieselguhr
- Celulosa (Nativa o micro-cristalina)
- Poliamidas

Estos adsorbentes deber tener las siguientes características:

- Tamaño de Partícula
 - ✓ Volumen de Poro
 - ✓ Diámetro de Poro
 - ✓ Área Superficial
- Homogeneidad
- Pureza

Para la preparación de la Placa Cromatográfica se usan como soporte del adsorbente láminas de: Vidrio, Plástico ó Metálicos (Ej.: Aluminio). Los tamaños

de la placa para TLC convencional son: 20 cm x 20 cm; 10 cm x 20 cm y 5 cm x 2 cm. Hay placas que contienen un indicador de Fluorescencia: F_{254} ó F_{366} . El número que aparece como subíndice nos indica la longitud de onda de excitación del indicador utilizado.

La muestra se aplica en la placa según el objetivo: Analítico ó Preparativa en:

- Banda
- Punto ó Mancha

Con la muestra aplicada en la placa, se empieza el desarrollo en la misma, el cual es un proceso por el que son trasportados a través de la fase estacionaria por la fase móvil. Para el desarrollo de las placas, es necesaria la utilización de cámaras. Existen varios tipos de cámaras:

- Normal
- Doble Compartimiento
- Sándwich
- Horizontal
- Vario KS
- U

La detección o visualización del desarrollo de las placas no es coloreada se requiere de métodos que permitan visualizar el(los) componente(s) presentes. También se conoce este procedimiento como Revelado.

Estos métodos son:

- Químicos (por inmersión o rociado). Se obtienen derivados coloreados o fluorescentes
- Físicos (ópticos). Generalmente se utiliza radiación UV.

En todas las placas que se analizan siempre es colocado un patrón interno de composición y fórmula química conocida, con lo cual se sabrá con mayor precisión la coincidencia con las muestras a interpretar.

2.4.1.2.3. Densitometría

Es una evaluación de un cromatograma de capa fina de alta resolución por un análisis cuantitativo de forma directa o indirecta. Donde lo que se busca es determinar la medida de transmisión, que es la medida de luz transmitida a través de la sustancia y la medida de emisión que es la luz reflejada desde la sustancia.

2.4.1.3. Determinación de azúcares y ácidos grasos por GC y GC/MS

Los azúcares o polisacáridos son los carbohidratos más abundantes, son el resultado de la unión de más de 10 unidades de azúcares sencillos, mediante enlaces glucosídico. Por su parte los ácidos grasos son lípidos naturales que poseen una cadena hidrocarbonada larga con un grupo carboxilo terminal.

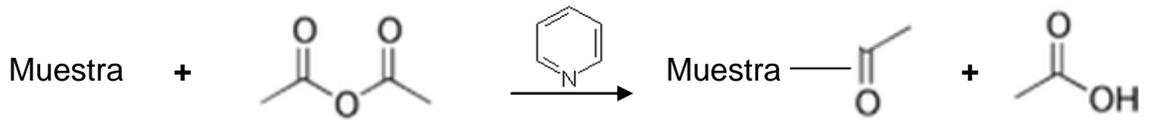
Este análisis se basa en el análisis por cromatografía de gases y espectros de masa. Consta de tres etapas, iniciándose con una *N* – acetilación, donde lo que se conseguirá es la introducción de un grupo acetilo en la molécula de la muestra a analizar.

El grupo acetilo o etanoílo, es un grupo funcional, específicamente un radical del acilo del ácido acético, con fórmula química, COCH_3 . El radical acetilo contiene un grupo metilo unido por un enlace simple a un grupo carbonilo. El átomo de carbono del grupo carbonilo tiene un electrón desapareado disponible, con el que forma un enlace químico al resto de la molécula.

La acetilación química puede lograrse usando una variedad de métodos, más comúnmente por el uso de anhídrido acético o cloruro de acetilo en la presencia de una base amino terciaria o aromática que en este caso en particular es piridina.

En la siguiente reacción química, se indica el desarrollo de este proceso, donde el anhídrido acético por acción de un medio básico proporcionado en parte por la piridina, usada como un catalizado así como por el propio reactivo.

La muestra que contiene por suposición inicial uno o más grupos hidroxilos, serán atacados por la piridina con lo cual desestabilizara el sistema logrando así la piridina la neutralidad de su sistema y dejando expuesto al hidroxilo más activo en la muestra, dando lugar a que este último interactué de forma directa con el anhídrido acético, donde por estabilidad de la propia molécula logra separarse en un grupo acetilo que queda una a la muestra y una molécula de ácido acético.

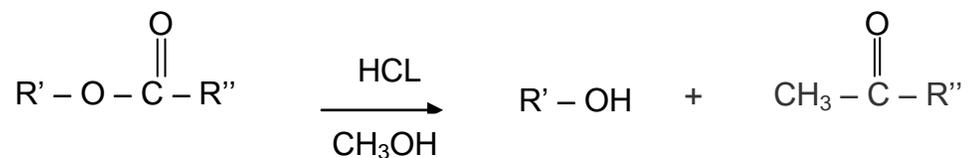


Con esta reacción se completa el primer paso para la determinación de azúcares y ácidos grasos, sin olvidar que es en esta etapa donde se le debe añadir el patrón interno de ácido graso a la muestra para tener un punto de comparación con los espectros obtenidos por el cromatógrafo.

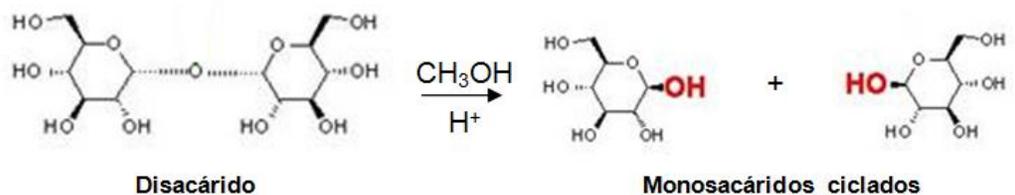
Para esta experimentación se usará como patrón interno una solución de 0.10 mM de C21:0 en $\text{CHCl}_3:\text{MeOH}$ 2:1.

La metanolisis es la segunda parte de esta determinación, donde lo que se logrará es una hidrólisis en medio ácido de los enlaces glicosídicos de un polisacárido en presencia de metanol.

La siguiente reacción esboza la manera en que la química se lleva a cabo en la metanolisis para los ácidos grasos.



La metanolisis para los polisacáridos se esquematiza por la siguiente reacción.



En esta parte del protocolo experimental se trabajara paralelamente con una muestra de azúcares conocidos, que son:

- a) Ramnosa
- b) Fucosa
- c) Ribosa
- d) Arabinosa
- e) Xilosa
- f) Manosa
- g) Myo – Inositol
- h) Glucosa
- i) Galactosa

Con lo que se compararan este patrón con los resultados de las muestras examinadas. Esta reacción se realiza en un medio con temperatura alta y por un periodo prolongado, para asegurarse de que los reactivos interactúen entre sí, formando los productos esperados. La metanolisis lograra que las grasas contenidas en las muestras evaluadas como triglicéridos, reaccionen con el metanol en un medio básico, proporcionado por el acetato de metilo y formen los ácidos grasos de metilésteres, que en química orgánica es conocido como una reacción de transesterificación.

Al haber presente azúcares con una estructura hemiacetálica, que es una molécula que contiene un grupo hidroxilo y un residuo alcóxido unidos a un mismo átomo de carbono, reaccionan con un alcohol en presencia de pequeñas concentraciones de ácido como catalizador, el producto formado es un acetal. Los compuesto acetálicos de azúcares reciben el nombre de glicósidos, siendo glucósidos los derivados de glucosa. Con ello se obtienen los metilglucósidos de los azúcares de la muestra.

Es después de la metanolisis donde existirán los compuestos mencionados con anterioridad, ácidos grasos de metilésteres y metilglucósidos de los azúcares, y deberán separarse basándose en la diferencia de solubilidad de los mismos, una extracción con agua y hexano, que depositara los monosacáridos en el fondo con el agua y los ácidos grasos en la fase orgánica, hexano.

Para la extracción se utilizara una centrifuga, que es una máquina que pone en rotación una muestra para separar por fuerza centrífuga sus componentes o fases, en función de su densidad. El centrifugado es una sedimentación acelerada, ya que la aceleración de la gravedad se sustituye por la aceleración centrífuga y favorece la resolución de emulsiones que suelen formarse en esta etapa.

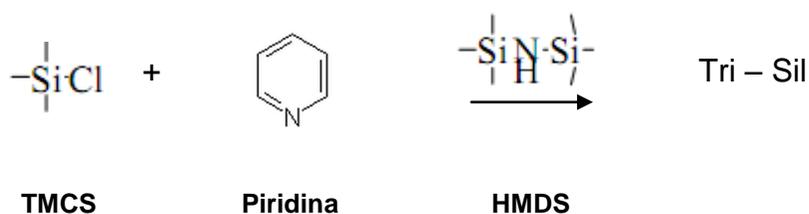
Con las fases separadas, los ácidos grasos de metilésteres están listos para su análisis por cromatografía de gases y espectros de masa, GC/MS, ya que tienen una volatilidad alta un factor determinante para este tipo de análisis. Mientras que a los metilglucósidos de los azúcares, se les debe realizar una nueva *N – acetilación*, la cual tiene como objetivo acetilar los grupos amida que puedan existir en la fase acuosa, con lo que favorecerá la tercera y última etapa de este proceso experimental que es la derivatización.

Con un creciente interés en glicobiología, especialmente en el área e análisis de carbohidratos, la caracterización y composición de residuos glicosil se ha convertido en importante. Un método útil para determinar la composición del azúcar de estos residuos es mediante la conversión de los azúcares individuales a los derivados de TMS.

La última etapa conocida como reacción de derivatización, tiene como compuesto fundamental el uso de Tri – Sil reactivo de Pierce. Con lo cual se obtiene los derivados de TMS (Trimetilsilil éteres) que pueden someterse a cromatografía de gases y determinar sus espectros de masas. De esta manera, los compuestos orgánicos hidroxilo y polihidroxílicos sufrirán una modificación estructural donde serán sustituidas las moléculas de hidrógeno por moléculas TMS, lo que le conferirá a la estructura un menor punto de ebullición y mayor volatilidad, permitiendo el análisis cromatográfico.

La reacción de derivatización se realiza para modificar las propiedades fisicoquímicas de la molécula analizar por cromatografía de gases, ya que en general los monosacáridos tienen en su estructura grupos hidroxilo que le confieren a la estructura una polaridad mayor por los puentes de hidrogeno que se forman lo cual eleva su punto de ebullición y obstaculiza el análisis por cromatografía de gases.

El Tri – Sil reactivo de Pierce ofrece la conversión más rápida y precisa de los azúcares, alcoholes, fenoles, esteroides, esteroles, ácidos biliares y algunas aminas de derivados TMS. La forma de actuar del Tri – Sil reactivo de Pierce, se basa en la mezcla de tres sustancias que le dan su potencial característico, estos son el Trimetilclorosilano (TMCS) y Piridina como reactivos y Hexametildisilazano (HMDS) como catalizador. A continuación se expone la reacción de formación del Tri – Sil reactivo de Pierce.



Con el Tri – Sil obtenido por la reacción de TMCS y piridina es posible esquematizar el actuar de este reactivo con una molécula que contenga uno o más grupos hidroxilo.



Esta reacción da una perspectiva del actuar del Tri – Sil reactivo de Pierce. Con ello se tiene asegurado la caracterización de los azúcares correspondientes en las muestras problema por el análisis de cromatografía de gases y espectros de masa.

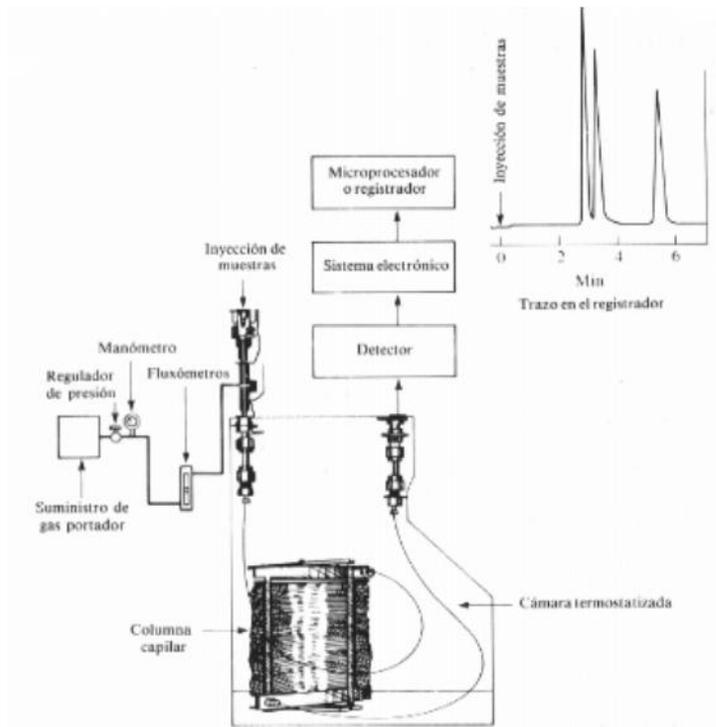
Un cromatógrafo de gases consiste en varios módulos básicos ensamblados para proporcionar un gasto o flujo constante del gas transportador (fase móvil), permitir la introducción de vapores de la muestra en la corriente de gas que fluye, contener la longitud apropiada de fase estacionaria, mantener la columna a la temperatura apropiada, detectar los componentes de la muestra conforme eluyen de la columna y proveer una señal legible proporcional en magnitud a la cantidad de cada componente.

2.4.1.4. Determinación de los ácidos grasos de los lípidos de líquenes

Basado exclusivamente en la reacción de metanolisis para obtener ácidos grasos de metilésteres, es un segmento de la determinación de azúcares y ácidos grasos por GC/MS. Que al igual que todas las muestras analizadas por cromatografía, este contiene un patrón interno de un ácido graso, que sirve de

guía para la identificación por comparación con un espectro de una mezcla de ácidos grasos conocido. Véase Inciso 2.4.1.3.

Figura 17. **Esquema de un cromatógrafo de gases**



Fuente: Universidad de Alicante, Departamento de Ingeniería Química. Cromatografía de gases.

2.4.1.5. **Análisis de fibra alimentaria por el método de Southgate modificado**

El gran interés por la fibra alimentaria o fibra dietética (FD) se remonta a la década del setenta cuando varios investigadores basándose principalmente en estudios epidemiológicos enunciaron la hipótesis de que la deficiencia de FD se relaciona con la existencia de una serie de enfermedades.

El concepto actual de FD lo define como los componentes de la dieta de origen vegetal, que son resistentes a las enzimas digestivas del hombre y químicamente estaría representado por la suma de los polisacáridos que no son almidones ni lignina.

La fibra dietética es esencial en una dieta bien balanceada. Forman parte de la FD convencional 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. Se puede clasificar a la fibra de acuerdo a su solubilidad en agua en fibra insoluble (FI) (celulosa, gran parte de las hemicelulosas y lignina) y soluble (FS) (pectinas, gomas, mucílagos, ciertas hemicelulosas, polisacáridos de algas y celulosa modificada).

La fibra alimentaria es una sustancia básica en el proceso alimenticio y es un componente exclusivo de los alimentos vegetales que les confiere rigidez y sensación de fibrosidad o endurecimiento. La fibra insoluble, es de gran ayuda a funciones fisiológicas del organismo humano. Cuando la fibra fermenta produce ácidos grasos de cadena corta, los cuales son una fuente importante de energía para ciertas células del tracto digestivo; pueden inhibir el crecimiento y la proliferación de células cancerígenas en el intestino.

Los polisacáridos que conforman la FD difieren en sus componentes químicos. Así, la celulosa es un polímero de glucosa unida en posición β 1-4, sin cadenas laterales; las hemicelulosas son polímeros de pentosas y hexosas, con cadenas laterales en las que se presentan diferentes azúcares y ácidos glucurónicos (existen alrededor de 250 diferentes tipos de hemicelulosas); las pectinas son polímeros de ácido galacturónico con cadenas laterales con diferentes azúcares. La lignina es un polímero no polisacárido que contiene

unidades de fenilpropano derivados de los alcoholes sinapílico, coniferílico y cumarílico.

Las gomas son exudados formados en el sitio de injuria de las plantas, constituyen un grupo complejo de polisacáridos que contienen ácido glucurónico y galacturónico así como xilosa, galactosa y manosa. Típicas gomas en este grupo son la goma arábica, gatti, karaya y tragacanto. Los mucílagos están generalmente dispersos en el endosperma y se mezclan con los polisacáridos digeribles, la utilidad que le prestan a la planta es de reserva energética y para darles humedad a la semilla. Son generalmente polisacáridos neutros, por ejemplo la goma guar es un galactomanano de alto peso molecular derivado de la semilla del *Cyamopsis tetragonolobus*, una leguminosa que crece en la India y Pakistán.

Entre los polisacáridos de algas se tiene a los carragenanos que se obtienen de las paredes celulares de ciertas algas rojas. Hay varios tipos de carragenanos compuestos de residuos de galactosa unidos alternativamente en posición 1,3 y 1,4 sulfatados en grados variables; los alginatos, obtenidos de las paredes celulares de algas pardas que se describen químicamente como un copolímero lineal de ácidos manurónico y gulurónico.

Las gomas, mucílagos, polisacáridos de algas y celulosas modificadas se utilizan como aditivos en la industria alimentaria, como emulsificante y estabilizante en pequeñas cantidades.

Por otra parte, existe una gran variedad de componentes no convencionales asociados con la FD que van desde ceras a minerales y que por su baja digestibilidad pueden conducir a propiedades semejantes a la FD y que son motivos de controversia en el sentido de si deben o no incluirse dentro

de la FD. Entre estos podemos mencionar los compuestos fenólicos (taninos), ceras, glicoproteínas (extensina), minerales, ácido fítico, compuestos de Maillard, almidón resistente, quitina y quitosanos y formas confeccionadas por el hombre (polidextrosa, lactulosa, etc). Lo que hace difícil incluirlos como una parte oficial de la FD, es que algunos de ellos son altamente variables e impredecibles aunque la indigestibilidad que presentan parece compatible con los principios de la FD.

El método usado para la determinación del porcentaje de los constituyentes de la fibra alimentaria es conocido por el nombre de Southgate. Este es catalogado como un método químico que en general elimina los carbohidratos digeribles mediante digestión enzimática. Y los componentes de la fibra son hidrolizados mediante un ácido, y se miden los monosacáridos donde la suma de estos en el hidrolizado ácido representa la fibra.

Los componentes problemáticos en esta determinación suelen ser el almidón y glucosa. Para evitar este tipo de problemas la muestra debe ser baja en grasas (menos de 5 – 10%) por ello se debe realizar un desgrasado con anterioridad. Debe también estar seca, finamente molida y si la muestra no fuese sólida se debe liofilizar, extraerle la grasa, secar y moler.

En general el método de Southgate fracciona a la fibra en polisacáridos no celulósicos insolubles y solubles; celulosa y lignina. Esta última es determinada gravimétricamente y el contenido de polisacáridos es determinado a partir de constituyentes que son medidos colorimétricamente.

2.4.1.6. Método de Kjeldahl para determinación de proteínas en muestras sólidas

El nitrógeno es un elemento constituyente de muchos materiales importantes en la actividad humana como proteínas, fármacos, fertilizantes, etc. Por ello, el análisis de nitrógeno en una gran variedad de muestras es especialmente importante, tanto para la investigación como para la industria.

Las proteínas son los principales compuestos nitrogenados que existen en los alimentos. Son moléculas complejas constituidas por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno y, a veces, también otros elementos como azufre, hierro, cobre, fósforo y cinc.

Además de su significado nutritivo las proteínas juegan un papel importante en las propiedades organolépticas de los alimentos. Las proteínas ejercen una influencia controladora en la textura de los alimentos provenientes de fuentes animales.

Por hidrólisis ácida, las proteínas dan una serie de compuestos orgánicos sencillos de bajo peso molecular, los aminoácidos. Las proteínas son esenciales para la formación y mantenimiento de los tejidos corporales y su función en el organismo depende de su composición y secuencia aminoacídica y del tipo de enlaces que estabilizan su estructura.

Existen diversas formas para determinar proteínas en alimentos y estas se pueden agrupar en métodos directos e indirectos. El método a utilizar en esta investigación es el de Kjeldahl y pertenece a los métodos indirectos los cuales se basan en estimar la cantidad de proteína a partir del nitrógeno contenido en la muestra.

El método de Kjeldahl es uno de los análisis químicos más universalmente empleados, pues se adapta con facilidad a gran número de muestras, y constituye un método de referencia para determinar el nitrógeno total en cereales, carnes y otros materiales biológicos.

Puesto que no todo el nitrógeno de un alimento procede de proteínas (también existen otros compuestos nitrogenados como bases púricas y pirimidínicas, creatina y creatinina, urea, amoníaco, etc), el contenido de proteína estimada por el método Kjeldahl se denomina proteína bruta, ya que este es el termino referido a la determinación del nitrógeno total en la muestra, mientras que si se determina solo el nitrógeno proteico la cantidad de proteína estimada se denomina proteína pura.

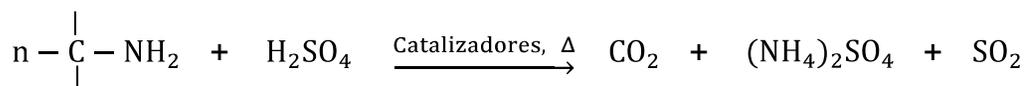
Este método se basa en la digestión de la muestra en ácido sulfúrico concentrado a ebullición, con la adición de un catalizador. El nitrógeno contenido en la muestra se convierte en amonio que se transforma en amoníaco, destila y recoge sobre una disolución de un ácido. Finalmente, el amoníaco recogido se determina por valoración ácido – base.

El contenido de nitrógeno calculado se convierte en proteína bruta considerando que la totalidad del nitrógeno está en forma proteica. La conversión del nitrógeno en proteína se realiza multiplicando por un coeficiente basado en el porcentaje de nitrógeno en la proteína. En general, se utiliza como factor de conversión 6.25 (ya que muchas proteínas tienen un 16% de nitrógeno), pero si el porcentaje de nitrógeno es distinto el factor de conversión será inferior o superior a este (6.38 para productos lácteos y 5.70 para cereales).

La determinación de nitrógeno por el método Kjeldahl se basa en la oxidación de la muestra con ácido sulfúrico concentrado y caliente (mineralización por vía húmeda o digestión), con lo que el nitrógeno combinado se convierte en ion amonio. A continuación, se trata la disolución con un exceso de base fuerte, se destila y, finalmente, se valora el amoniaco liberado.

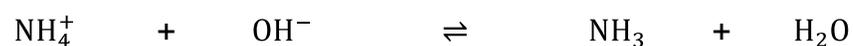
Durante la etapa de oxidación o digestión, que es la fase crítica del método, el carbono e hidrógeno de la muestra se transforman en dióxido de carbono y agua, respectivamente, mientras que el comportamiento del nitrógeno depende del tipo de combinación en que se encuentre. Si está en forma de amina o amida, como en la materia proteica, la conversión a ion amonio es casi siempre cuantitativa. Sin embargo, el nitrógeno en un estado de oxidación superior, como en los grupo nitro, azo o azoxi, pasa al estado elemental o a la forma de óxidos durante la oxidación, y éstos no son retenidos por el ácido sulfúrico. En estos casos es necesario tratar la muestra con un agente reductor antes de la digestión con ácido sulfúrico.

Con el fin de mejorar la cinética del proceso de oxidación, que es la etapa más lenta en el método Kjeldahl, se añade una sal neutra, como el sulfato de potasio, para aumentar el punto de ebullición del ácido sulfúrico y con ello la temperatura a la que se desarrolla la oxidación. No obstante, hay que proceder con cuidado a fin de evitar la oxidación del ion amonio, especialmente si la concentración de la sal es alta y se produce una excesiva evaporación del ácido sulfúrico durante la digestión. La siguiente reacción muestra químicamente como se da la digestión.



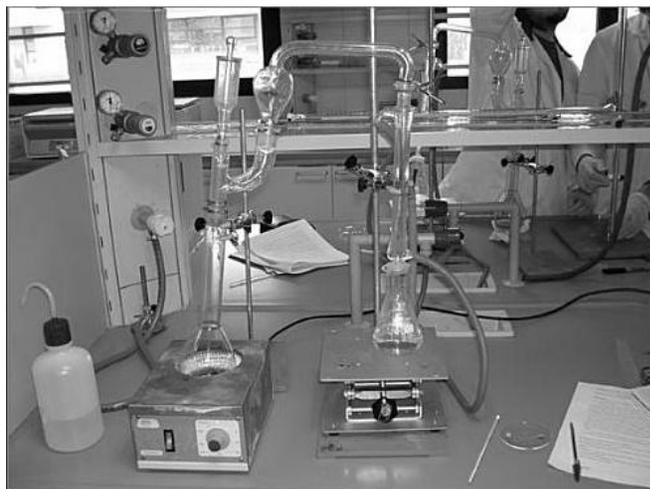
Proteína

En la Figura 18 se representa el equipo típico de destilación utilizado en el método Kjeldahl. El matraz de cuello largo, utilizado tanto para la oxidación como para la destilación, se llama frasco o matraz Kjeldahl. Cuando la oxidación se ha completado, se enfría el contenido del matraz y se diluye con agua, para darle a continuación la basicidad necesaria para que libere el amoníaco de acuerdo con la siguiente reacción:



El aparato mostrado en la Figura 18 consta, además, de una trampa para niebla que evita que las gotas de la base fuerte puedan pasar arrastradas por la corriente de vapor, y de un condensador refrigerado por agua. Durante la destilación, el final del tubo adaptado al refrigerante se sitúa lo más próximo a la disolución de ácido del frasco colector.

Figura 18. **Equipo de destilación Kjeldahl**



Fuente: SIERRA ALONSO, Isabel y otros. Experimentación en química analítica. Universidad Rey Juan Carlos. España: 2007. Pág. 71.

La determinación del amoníaco se realiza en el colector donde se recoge este, contiene una cantidad conocida de ácido patrón. Tras la destilación, se valora por retroceso el exceso de ácido con base patrón. Se necesita un indicador con un viraje en la zona ácida, debido a la presencia de iones amonio en el punto de equivalencia.



Constituyen fuentes de error en este método la inclusión de nitrógeno no proteico como parte de la proteína; la pérdida de nitrógeno durante la digestión, la digestión incompleta de la muestra.

Las proporciones excesivas de sulfato de sodio o potasio que se añaden al ácido (para elevar el punto de ebullición) pueden resultar en una descomposición por calor y la consecuente pérdida de amoníaco. Generalmente se recomiendan temperaturas de digestión de 370-410°C.

2.4.1.7. Determinación de azúcares totales por el método del fenol – sulfúrico

El contenido total de carbohidratos de medios líquidos, extractos, alimentos líquidos puede ser determinado como azúcares simples, oligosacáridos, polisacáridos y sus derivados, por el método del fenol – sulfúrico puesto que es sensible, rápido y exacto. Este método determina todos los azúcares: reductores, no reductores, sustituidos o polímeros.

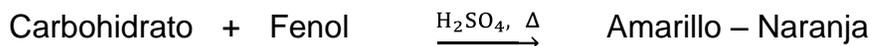
Este método propuesto por Dubois et al en 1956 se fundamenta en que los carbohidratos son particularmente sensible a ácidos fuertes y altas temperaturas. Bajo estas condiciones una serie de reacciones complejas toman

lugar empezando con una deshidratación simple, si se continúa el calentamiento y la catálisis ácida se producen varios derivados del furano que condensan consigo mismos y con otros subproductos para producir compuestos coloridos, producto de la condensación de compuestos fenólicos y con heterociclos con el nitrógeno como heteroátomo. La condensación más común es con fenol.

Todos los azúcares como oligosacáridos y polisacáridos pueden ser determinados, recordando que éstos bajo hidrólisis ácida producen monosacáridos. La forma en que procede la reacción no es estequiométrica y depende de la estructura del azúcar.

Este es un método visiblemente cualitativo pues cuando la cantidad de muestra reacciona primero con fenol y luego con ácido sulfúrico presente un cambio drástico de color, donde la intensidad naranja de este es proporcional a la cantidad total de carbohidratos presentes. Esta absorbancia puede ser medida con un espectrofotómetro con una longitud de onda, λ , de 490 nm y la concentración total de carbohidratos de las soluciones problema se miden con respecto a una curva estándar preparada, con distintas concentraciones de algún azúcar específico.

Cuando los reactivos fenol y ácido sulfúrico son añadidos a la muestra de azúcares, estos se tornan principalmente en hidroximetilfurfural (HMF) o furfural (F) los cuales se caracterizan por su intenso color amarillo – naranja.



La degradación de los polisacáridos hasta hidroximetilfurfural (HMF) y furfural (F) ocurre de la siguiente manera.



Este método ofrece ventajas como la simplicidad del mismo, su sensibilidad a muy bajos niveles de azúcar (5 µg), no existe interferencia con proteínas y los reactivos son baratos y estables.

La desventaja evidente es cuando los carbohidratos que no proporcionan HMF y F en la descomposición ácida resultan en una amplia gama de colores. Por tanto el método no mide todos los carbohidratos.

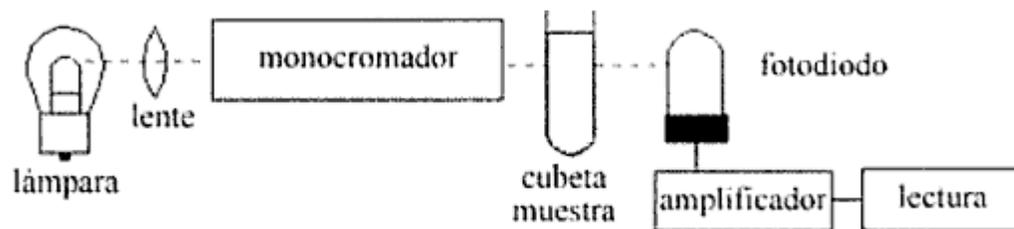
Un espectrofotómetro es un instrumento que tiene la capacidad de manejar un haz de radiación electromagnética (REM), comúnmente denominado luz, separándolo para facilitar la identificación, calificación y cuantificación de su energía. Su eficiencia, resolución, sensibilidad y rango espectral, dependerán de las variables de diseño y de la selección de los componentes ópticos que lo conforman.

Este instrumento consta de las siguientes unidades básicas, las cuales se ilustran en la Figura 19:

- A. La lámpara que emite la radiación electromagnética.
- B. Las lentes ópticas que concentran el haz luminoso y lo enfocan sobre el monocromador.
- C. El monocromador, unidad que permite obtener luz monocromática o radiación formada por una sola longitud de onda.
- D. El sistema de cubetas o células donde se sitúa la solución de muestra a analizar y se caracteriza por su longitud de paso.
- E. El detector, la luz no absorbida (transmitida) por la muestra continúa su camino hacia el fotomultiplicador y por mediación del sistema de

fotodiodos esta señal óptica es transformada en eléctrica, para finalmente, ser amplificada y registrada o digitalizada.

Figura 19. **Unidades básicas de un espectrofotómetro UV-vis haz simple**



Fuente: Barcelo Mairata, Francisca. "Técnicas instrumentales en bioquímica y biología". 1ª ed. España: Editorial Universidad de las Islas Baleares. 2003. Pág. 63.

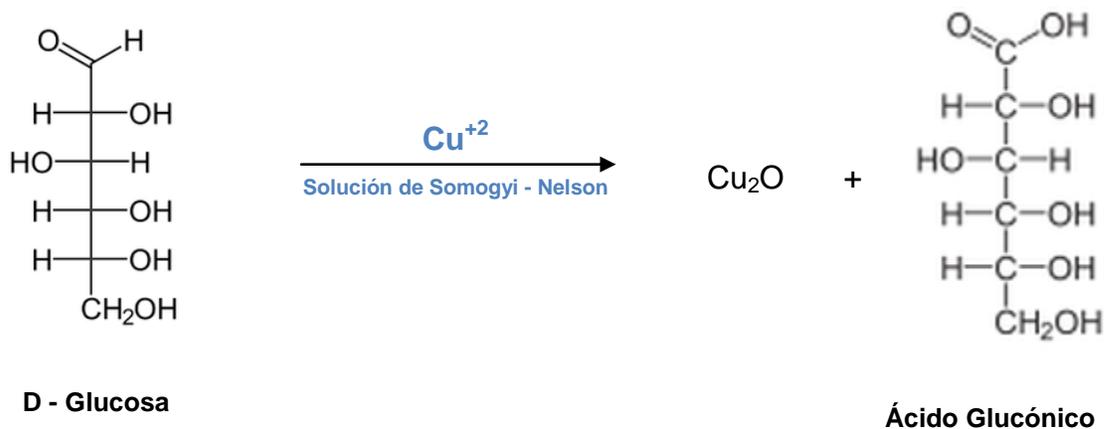
Para determinar la absorbancia, A , de una muestra en un espectrofotómetro UV-vis, es necesario hacer dos lecturas independientes: primero la del disolvente (A_d) y a continuación la solución de muestra (A_m). Dado que las absorbancias son aditivas, la medida de absorbancia del soluto será: $A = A_m - A_d$.

2.4.1.8. Determinación de azúcares reductores por el método de Somogyi – Nelson

Un azúcar reductor es un monosacárido o disacárido que puede ceder electrones a otras moléculas y puede, por tanto, actuar como agente reductor. La presencia de un grupo cetona ($-\text{CO}-$) o aldehído ($-\text{CHO}-$) libre permite a la mayoría de los monosacáridos y polisacáridos actuar como azúcares reductores.

Cuando se valoran los glúcidos hay una serie de métodos que se basan en la reducción de un ión metálico, como el método de Nelson – Somogyi, resultado apto para la valoración de azúcares reductores, presentes en las soluciones que contienen o no proteínas.

Este método se basa en un medio alcalino, los glúcidos reductores reducen el ion cúprico a cuproso. Al comienzo de la técnica, la utilización del desproteinizante a base de sulfato de cinc logra que el filtrado no contenga otros azúcares reductores distintos de glucosa, esto es únicamente necesario si se sabe que la muestra a evaluar contiene proteínas de lo contrario es posible obviar esta parte del proceso; este filtrado se calienta con un reactivo cúprico – alcalino formándose un precipitado insoluble de óxido cuproso.



Se añade reactivo arseno – molibdico (reactivo de Nelson) con lo cual se desarrolla un color cuya intensidad es proporcional a la cantidad de óxido cuproso precipitado y por consiguiente a la concentración de glucosa en el filtrado. El factor limitante de la reacción es la glucosa, y los reactivos están en exceso. El color desarrollado se compara con aquel obtenido en cada uno de una serie de soluciones conteniendo cantidades conocida de glucosa (curva de calibración).

La determinación de absorbancias se hace al igual que el protocolo de azúcares totales por medio de un espectrofotómetro, pero con una longitud de onda distinta, λ , 610 nm, que representa el espectro de luz donde es detectable y comparable por colorimetría la cantidad de azúcares reductores disponibles. Véase Inciso 2.4.1.7.

2.4.1.9. Determinación de azúcares como acetatos de alditol

Al igual que en la determinación de azúcares y ácidos grasos por GC y GC/MS (Véase Inciso 2.4.1.3.), esta experimentación busca conocer la cantidad de azúcares que existen en la muestra a analizar. Este método rectifica los datos que se obtienen con el método antes citado. El objetivo principal es transformar la molécula del polisacárido en una estructura que tenga una volatilidad alta para su posterior análisis por cromatografía de gases y no ponga un obstáculo en dicha determinación.

El polisacárido es reducido a monosacáridos por el rompimiento del enlace glucosídico por acción de un ácido, ácido trifluoroacético, con el rompimiento las moléculas de los azúcares simples se reordenan en forma de una cadena estructural ordenada, dejando en uno de sus extremos el grupo aldehído que representa la parte activa a modificar con esta reacción.

Es en este intermedio cuando se añade a la muestra un patrón interno, myo – Inositol, que comparara y contrastara los resultados obtenidos. El grupo a modificar, aldehído, se empezara hidrogenando con borohidruro de sodio, lo cual desestabilizara la molécula y romperá el doble enlace carbono – oxígeno, grupo cetona, para dar como resultado un alcohol, que en química orgánica se conoce como alditol.

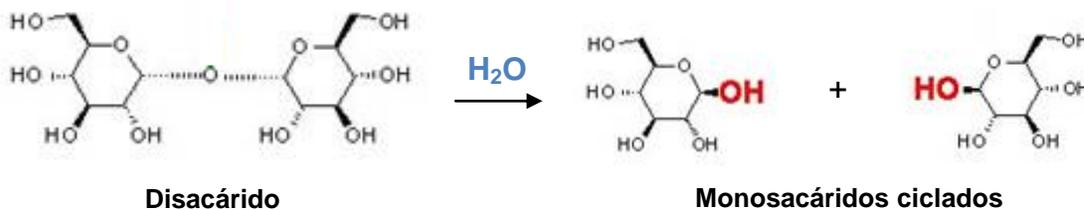
Como el reactivo de borohidruro de sodio es muy activo, es necesario destruir el exceso de este con acetona.

Para obtener los acetatos de alditol, se debe hacer una modificación evidente al alditol que se tiene, y esto se realiza en un medio ácido que propicie la desintegración de la molécula por la pérdida de la molécula de hidrogeno del grupo hidroxilo y deje la estructura restante cargada negativamente.

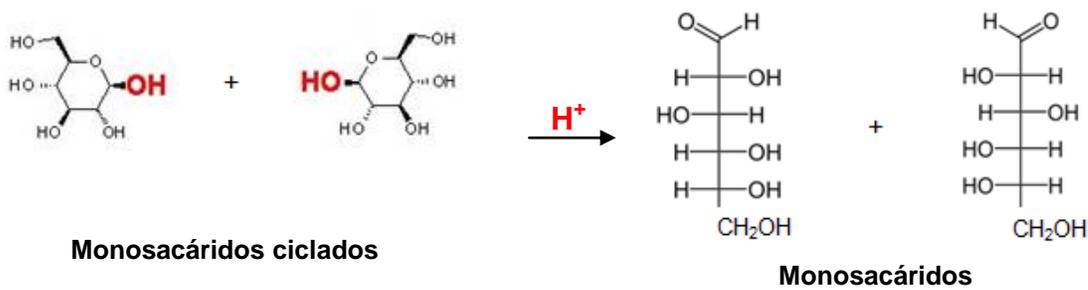
Este carbanión buscara la manera de estabilizar su estructura y lo hará con cualquier molécula que le ofrezca compartir un electrón por un enlace covalente, es allí donde se añade anhídrido acético, que reacciona con dicha estructura formando acetato de alditol y por otro lado ácido acético.

La siguiente reacción ejemplifica el proceso para la obtención de acetatos de alditol a partir de polisacáridos.

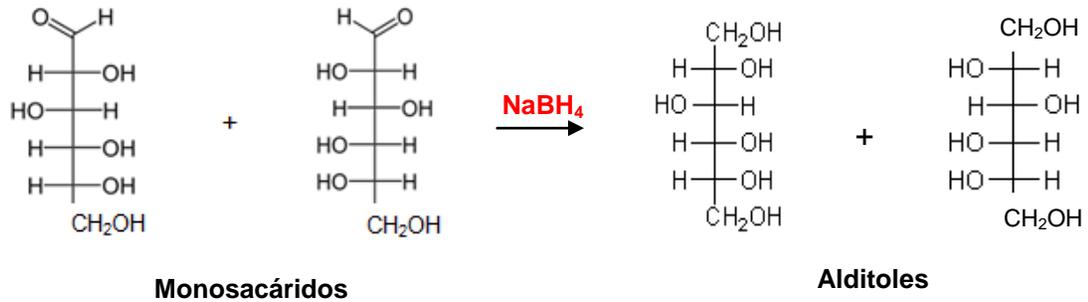
Hidrólisis de un disacárido



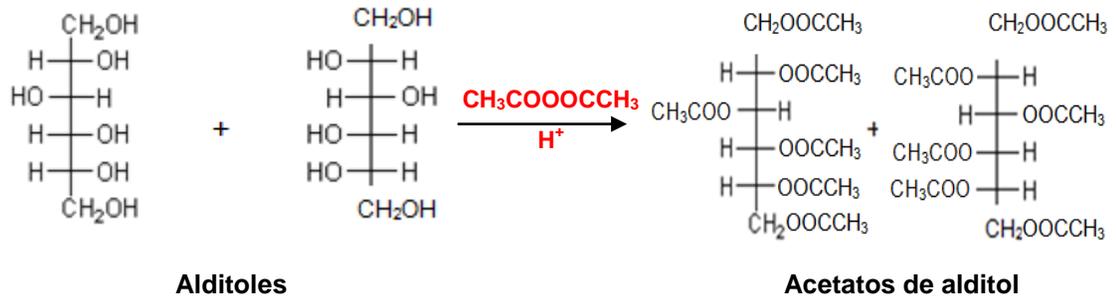
Desciclación de un monosacárido



Formación de alditoles



Formación de los acetatos de alditol



2.4.2. Análisis sensorial

La valoración sensorial es una función que la persona realiza desde la infancia y que le lleva, consciente o inconscientemente, a aceptar o rechazar los alimentos de acuerdo con las sensaciones experimentadas al observarlos o ingerirlos. Sin embargo, las sensaciones que motivan este rechazo o aceptación varían con el tiempo y el momento en que se perciben: dependen tanto de la persona como del entorno. De ahí la dificultad de que con determinaciones de valor tan subjetivo, se puede llegar a tener datos objetivos y fiables para evaluar la aceptación o rechazo de un producto alimentario.

La necesidad de adaptarse a los gustos del consumidor obliga a que, de una forma u otra, se intente conocer cuál será el juicio crítico del consumidor en la valoración sensorial que realizará del producto alimentario. Es evidente la

importancia de disponer de sistemas y herramientas que le permitan conocer y valorar las cualidades organolépticas del producto que elabora, y la repercusión que los posibles cambios en su elaboración o en los ingredientes puedan tener en las cualidades finales.

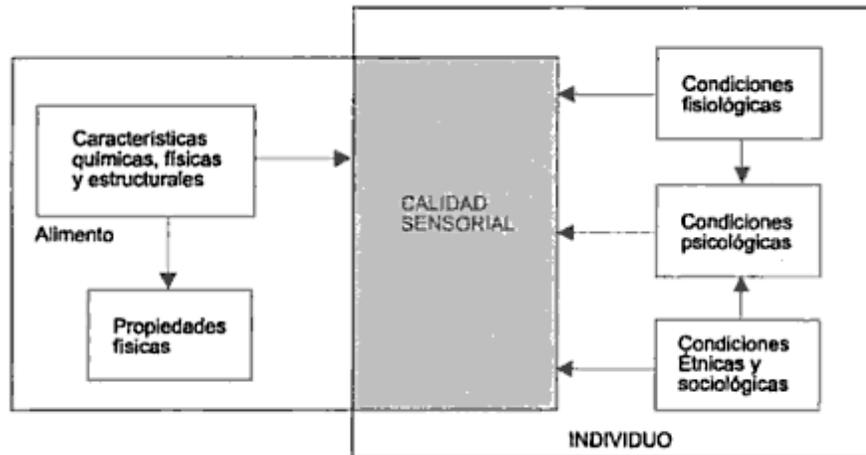
Por esto, es lógico que en las técnicas de control de calidad de los productos alimentarios, sea de gran importancia conseguir definir, mediante parámetros objetivos, estas sensaciones subjetivas que experimentarán los consumidores de los alimentos y que condicionarán la aceptación o rechazo del producto, o el precio que estará dispuesto a pagar por él. De ahí la importancia del análisis sensorial de los alimentos que, en general se define, en sentido amplio, como un conjunto de técnicas de medida y evaluación de determinadas propiedades de los alimentos, a través de uno o más de los sentidos humanos.

Para que este análisis se pueda realizar con un grado importante de fiabilidad, será necesario objetivar y normalizar todos los términos y condiciones que puedan influir en las determinaciones, siempre con el objetivo de que las conclusiones que se obtengan sean cuantificables y reproducibles con la mayor precisión posible.

Actualmente se teoriza que la calidad sensorial de un alimento no es una característica propia, sino el resultado de la interacción entre el alimento y el hombre y entonces se puede definir como la sensación humana provocada por determinados estímulos procedentes del alimento, mediatizado por las condiciones fisiológicas, psicológicas y sociológicas de la persona o grupo de personas que la evalúan.

Posteriormente en esta sección se describirá la prueba sensorial utilizada para el estudio de la galleta.

Figura 20. **Esquema del concepto actual de la calidad sensorial**



Fuente: SANCHO, J. y otros. "Introducción al análisis sensorial de los alimentos". 1ª ed. España: Editorial Universidad de Barcelona. 1999. Pág. 26.

2.4.2.1. Tecnología e ingeniería alimentaria de la galleta

Cuando se habla de tecnología alimentaria se refiere a una ciencia especializada en la cual existe un estudio y análisis preciso de los alimentos según la concepción de la microbiología de los mismo, en donde también se investiga su configuración física y química examinando sus propiedades, contenidos nutricionales en todas las partes del proceso de elaboración (proceso, empaque y embarque), así como durante la fase de cocción y su viabilidad para ser un potencial alimento básico para los seres humanos.

Precisamente dentro de la tecnología de alimentos existe una rama que se encarga de diseñar y crear nuevos productos alimenticios con altos valores nutricionales sin dejar por fuera el gusto y el sabor, dos factores que hacen que un alimento sea atractivo a los ojos de cualquier consumidor. La ingeniería de los alimentos es aquella tal como lo dice su nombre se encarga primordialmente

de la creatividad y de la transformación de materia prima de consumo alimentario en productos novedosos con una vida más larga en donde no se pierdan sus valores nutritivos.

En este caso y en síntesis la Ingeniería de Alimentos es la parte de la tecnología de alimentos que se encarga en un amplio sentido del desarrollo de nuevos alimentos, para lo cual debe contar con una estrategia importante en la cual se analiza el mercado y las necesidades de los consumidores finales, se analiza claramente como son los hábitos alimentarios y posteriormente se crea un producto que satisfaga cada una de las necesidades presentes en el mercado.

Dichas ciencias han establecido agrupamientos de diferentes formas, basados en la textura o dureza del producto, en el cambio de forma en el horno, en la extensibilidad o cualquier otra particularidad de la masa, o en las diferentes formas de trabajarla antes de formar el producto final como las galletas.

En general, las galletas son productos elaborados con trigo suave; se caracterizan por incluir en sus formulaciones contenidos elevados de azúcar y materia grasa y relativamente poca o nula cantidad de agua, en comparación con el pan. La diversidad de estos productos es muy amplia, por lo que la diversas instituciones las han definido como “el producto elaborado con harina de trigo, avena, centeno, harinas integrales, harina enriquecida, azúcares, grasa vegetal y/o aceites vegetales comestibles, agentes leudantes, sal yodada; adicionados o no de ingredientes y aditivos alimenticios autorizados, los que se someten a un proceso de amasado, moldeado y horneado”.

En general, los panes y galletas tradicionales se elaboran con harina de trigo; sin embargo, es posible adicionar pequeñas cantidades de otras harinas para conseguir sabores o propiedades estructurales especiales. En galletería existe una diversidad de extensores de harina de trigo que, adicionados en proporción adecuada a las formulaciones mejora la calidad nutricional, en el grupo de extensores será incluido el polvo de hoja de *Moringa oleifera*. El cual tiene como objetivo primordial elevar la cantidad de nutrientes en la harina y por lo tanto en el producto final.

La tecnología de los alimentos establece una serie de especificaciones para galletas que van desde las sensoriales para que el producto tenga un color, olor y sabor característicos y homogéneos. Como aspecto, tamaño uniforme, de acuerdo con el tipo de galleta.

A esto también se le suman los ingredientes opcionales como: Lecitina, saboreadores, colorantes, emulsificantes, antioxidantes y mejoradores de masa. El producto debe estar libre de fragmentos de insectos, pelos y excretas de roedores, así como de cualquier otra materia extraña objetable.

2.4.2.1.1. Materia prima

Los principales ingredientes son los mismos que se mencionaron en la definición de galleta del inciso anterior, donde el principal componente de la formulación, es la harina enriquecida y le siguen a ellos, grasa vegetal y/o aceites vegetales comestibles, azúcares, huevos, sal yodada y agentes leudantes. Véase Apéndice 1. Preparación de la galleta.

El trigo, es una monocotiledónea, del orden de las *Glumiforas*, Familia *Gramináceas*, género *triticum* y especie *triticum durum*. La harina de trigo se

obtiene por el proceso de molturación. Posee constituyentes aptos para la formación de masas (proteína – gluten), pues la harina y agua mezclados en determinadas proporciones, producen una masa consistente. El gluten se forma por hidratación e hinchamiento de proteínas de la harina: gliadina y glutenina.

Las propiedades fermentativas de una harina se concretan en la producción de gas, que tiene lugar durante la fermentación de la masa, consecuencia de la cantidad de azúcares preexistentes y de la producida por medio de la transformación parcial sufrida por el almidón.

La grasa vegetal y/o el aceite vegetal comestible son productos de origen vegetal pudiendo ser animal si fuese el caso o sus mezclas, que reúnen las características normadas y cuyos componentes principales son glicéridos de los ácidos grasos, pudiendo contener otras sustancias en proporciones menores.

Los agentes leudantes ese refiere en general a levadura y otros compuestos que le agregan a la galleta prolongación en su vida de anaquel, conservantes y otros que acentúan sabores característicos.

Las levaduras son compuestos alcalinos. Entre las levaduras se debe distinguir entre levadura biológica y gasificante. Las primeras realizan la fermentación biológica del producto, transforman los azúcares en CO₂, alcohol etílico y energía, además de descomponer los azúcares complejos fermentables en otros más simples por medio de la enzima zymasa. Las gasificantes son productos para provocar la hinchazón o elevación de la masa sin llegar a transformar ningún componente de la harina, en el modo que ocurre en la biológica.

2.4.2.1.2. Aditivos alimentarios

Un aditivo alimentario es cualquier sustancia que no es consumida normalmente como alimento y que tampoco se utiliza como ingrediente básico en los alimentos, tenga o no valor nutritivo, y cuya adición intencionada al alimento con fines tecnológicos (incluidos los organolépticos) en sus fases de fabricación, elaboración, preparación, tratamiento, envasado, empaquetado, transporte o almacenamiento, resulte o pueda preverse razonablemente que resulte (directa o indirectamente) por sí mismo o sus subproductos, en un componente del alimento o un elemento que afecte a sus características.

La galleta se encuentra clasificado dentro del Codex Alimentarius en la categoría 07.2.1 referente a tortas, galletas y pasteles (p. ej., rellenos de fruta o crema). Los términos “cracker dulce” o “galleta dulce” utilizados en esta categoría se refieren a un producto tipo galleta que puede comerse como postre. Ejemplos de estos productos son los siguientes: galletas de mantequilla, galletas de harina de avena, galletas de azúcar, entre otros.

Los aditivos alimentarios expuestos por el Codex Alimentarius refieren en su totalidad a colorantes como el caramelo IV que principalmente se usa para mejorar las propiedades organolépticas de la galleta.

2.4.2.1.3. Empaquetado

El empaquetado es una parte integral de los procesos en alimentos, y lleva a cabo dos funciones en la industria alimentaria: proteger la vida de anaquel de los alimentos hasta un grado predeterminado y atraer a los consumidores.

2.4.2.2. Escala hedónica

La escala hedónica también conocida como pruebas de aceptación se utiliza para evaluar la aceptación o rechazo de un producto determinado y aunque su realización pueda parecer rutinaria, el planteo es muy complejo y debe hacerse con rigor para obtener datos significativos.

Suelen responder a requerimientos de mercado y normalmente pretenden apreciar tendencias de consumo: se quiere saber si un determinado producto es el idóneo para el consumo en un grupo de población, si es competitivo con otros ya existentes o si alguna de sus características llega a producir fatiga tras un cierto consumo.

El propio grupo de individuos es ya un punto a tener en cuenta ya que los consumidores (que siempre deben ser catadores inexpertos), pueden ser elegido al azar o bien seleccionados por aspectos concretos: edad, sexo, capacidad económica, hábitos sociales o de consumo, etc. A estos individuos se les puede abordar en la calle, citarlos en un estudio o sala donde se les hará la prueba, o darles el producto para que toda la familia lo ensaye en su propio domicilio y cada una de estas circunstancias definirá un tipo de comportamiento, que a su vez podrá ser influido por las explicaciones previas a la pregunta o preguntas clave de la prueba.

La formulación de la pregunta debe cuidarse en extremo, ya que en estos casos puede condicionar la respuesta, sobre todo si se llama la atención sobre aspectos que normalmente no son claramente diferenciados por el consumidor. De igual forma que se pueden deformar las respuestas en función de la oportunidad y momento en que se efectúa la prueba.

En función del planteo inicial deberá hacerse una selección del grupo de consumidores, del método de ensayo y de la forma de evaluar los datos obtenidos. En definitiva, en el momento del planteo de una prueba hedónica deberá tenerse en cuenta una serie de aspectos importantes:

- Precisar de forma inequívoca la naturaleza de la cuestión a resolver y analizar el comportamiento – tipo de consumo del producto estudiado.
- Utilizar sólo grupos bien definidos de sujetos no entrenados.
- Plantear preguntas hedónicas sencillas o pedir comparaciones fáciles.
- Tener consciencia de las limitaciones en cuanto a la validez de los resultados en función de la situación artificial impuesta a los individuos.

De la misma forma hay una serie de errores clásicos en este tipo de pruebas que deben intentar evitarse:

- Utilizar sujetos entrenados para las pruebas de aceptación o hedónicas.
- Combinar juicios hedónicos con evaluaciones cualitativas o cuantitativas.
- Confundir la ausencia de diferencias en cuanto a preferencias con la ausencia de diferencias entre los productos.
- No prestar atención a pequeños aspectos negativos del producto.
- Olvidarse de que no puede evidenciarse ninguna preferencia en una prueba basada en la primera impresión y hacer aparecer preferencias si el producto se degusta regularmente.

De acuerdo a estos criterios, se puede hacer una agrupación de los tipos de pruebas hedónicas que en cierto modo pueden ayudar a la selección.

2.4.2.2.1. Evaluación hedónica

La evaluación hedónica se logra analizando los datos, las categorías se convierten en puntajes numéricos de 1 al 9, donde 1 representa “disgusta muchísimo” y 9 representa “gusta muchísimo”. Los puntajes numéricos para cada muestra, se tabulan y analizan utilizando análisis de varianza, para determinar si existen diferencias significativas en el promedio de los puntajes asignados a las muestras.

En la prueba hedónica de 9 puntos, los panelistas marcan una categoría en la escala que va desde:

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

Figura 21. **Grupos de pruebas para los ensayos hedónicos**

<i>Planteo o problemática</i>	<i>Prueba de Laboratorio</i>	<i>Prueba en situación natural</i>
Preferencia momentánea o inmediata	<i>Consumidores no experimentados</i> Prueba pareada Prueba de ordenación Evaluación hedónica	<i>Consumidores (en calle o sala)</i> Prueba pareada Prueba de ordenación Evaluación hedónica
Preferencia a largo plazo	<i>Consumidores seleccionados</i> Prueba de cansancio Prueba de aversión Prueba de consumo	<i>Consumidores (en domicilio)</i> Prueba de comparación Prueba monomuestral "agenda y consumo"
Imagen del producto	<i>Consumidores seleccionados</i> Prueba de autenticación	<i>Consumidores seleccionados</i> Prueba de autenticación
Aceptación	<i>Consumidores seleccionados</i> Prueba pareada Evaluación de la aceptación	<i>Consumidores seleccionados</i> Prueba pareada Evaluación de la aceptación

Fuente: Sancho, J. y otros. "Introducción al análisis sensorial de los alimentos". 1ª ed. España: Editorial Universidad de Barcelona. 1999. Pág. 144.

2.4.3. Diseño de la línea de producción

Como diseño se entiende una serie de etapas, en las que se empieza buscando un problema, y es de este obstáculo donde se origina una serie de pasos para llegar a una solución.

Todo diseño empieza con un macroanálisis, en el cual se analiza lo externo al problema o ambiente, seguido de esto es necesario la evaluación minuciosa, o sea, un microanálisis, donde se detallan cada una de las variables independientes como dependientes que tienen una influencia en el sistema.

Con esto analizado, se empieza a buscar alternativas, las cuales se desglosan con sus puntos a favor y en contra, lo que lleva a una solución preliminar, que es reducir el número de las opciones para su desarrollo.

El desarrollo del modelo se hace por medio de métodos numéricos, analíticos, etc. Para dimensionar el equipo, que tendrá luego que evaluar costos y condiciones óptimas por medio de un análisis económico. Para concluir con la presentación de resultados a través de planos y/o maquetas.

Entre las áreas más importantes de la Ingeniería Química se encuentran el diseño, desarrollo y administración de equipo industrial. En la actualidad la producción galletera se ha automatizado gracias a los medios mecánicos: amasadoras potentes para el trabajo de pastas duras, cortadoras automáticas de gran rendimiento y hornos de túnel de cocción continua.

La buena presentación de las galletas requiere que sean procesadas, cortadas y presentadas con homogeneidad; para elaborarlas a cierta escala, es indispensable proveerse de maquinaria para dicha función.

2.4.3.1. Descripción de maquinaria y equipo

La maquinaria y equipo que a continuación se detallan describen el proceso de elaboración general de la galleta de una manera secuencial aproximada desde el momento de su recepción, así como los utensilios mayoritariamente empleados y las nuevas tecnologías de implantación en el sector.

2.4.3.1.1. Recepción de productos

La totalidad de los productos que llegan a la empresa y a los que son expedidos lo hacen por una única zona, la zona de carga y descarga.

La recepción de todos los productos se realiza del mismo modo, variando sólo el control de la temperatura de la mercancía que se efectúa a los productos que deben mantenerse a temperatura regulada.

2.4.3.1.2. Almacenaje de suministros

La gestión de los almacenes se hace informáticamente. Se registran todas las entradas y salidas de suministros así como su localización física.

Todos los almacenes tienen identificadas las ubicaciones de las mercancías. En cada ubicación hay un rótulo que indica su número, el producto que corresponde a dicha ubicación y el código de producto.

Los almacenajes a temperatura ambiente están situados en la planta baja, sótano. Se accede a ella por un montacargas. La zona de almacenaje de materias primas está dividida en cinco almacenes: harinas y productos molidos, materias primas, empaque y etiqueta y embalajes. En el almacén de harinas y productos molidos, se colocan los sacos conteniendo dichas materias sobre palets de madera y estibado varía según el operario que lo efectúe o según el stock del que se disponga.

En el almacén de materias primas se colocan todas las materias primas exceptuando las harinas y aquellas que necesitan temperaturas reguladas para su conservación. Las materias primas están almacenadas sobre unos estantes

metálicos y sobre palets de madera. Dependiendo del tamaño y de la cantidad del stock son situados en un lugar o en otro.

Los envases están situados en el almacén de envases y etiquetas y se disponen en cajas sobre plataformas de plástico para evitar su contacto con el suelo. En cada caja se especifica su contenido. Las etiquetas están almacenadas sobre unos estantes metálicos situados a la entrada del almacén. Los embalajes son almacenados sobre palets. Se procura mantener los embalajes paletizados para evitar su exposición al ambiente del almacén.

Los almacenajes a temperatura regulada, refrigeración, se utilizaran para resguardar ciertas materias primas que a temperatura ambiente se descomponen permitiendo la perdida de propiedades organolépticas en los mismo.

2.4.3.1.3. Transportadores de banda

Consiste en una cinta que corre sobre rodillos móviles tensada, y que, cuenta con un alimentador (o varios) y un descargador (o varios). La cinta se hace de lona, rayón, nylon, hule y puede ir reforzada con tensores de acero (alambros de acero). Su longitud puede ir de algunos metros a uno o más kilómetros. Su ancho es variable. Se puede fabricar con diferentes capacidades de resistencia longitudinal.

Generalmente son horizontales pero pueden subir en ángulo máximo de 30° y preferiblemente no más de 20°. Tienen una velocidad de hasta 300 m/min, pero el estándar está entre 60 y 150 m/min. Su capacidad puede llegar a ser de 5000 ton/h. Puede transportar sólidos abrasivos y corrosivos.

2.4.3.1.4. Descargador

Este equipo es una continuación de la banda transportadora, y su función como el nombre lo indica es depositar el fluido desplazado a la siguiente etapa.

2.4.3.1.5. Lavadora por aspersión de agua

Equipo utilizado para la limpieza de la hoja de *Moringa oleifera*, por medio de movimiento giratorio con los cepillos de fibra de plástica, conjuntamente con agua que se rocía sobre la hoja. Actualmente el equipo ha sido modificado a un tambor cilíndrico recubierto con cerdas de cepillos suaves que giran en contrasentido con un cepillo interno, y poseen un aspersor de agua que ayuda a remover la tierra y las impurezas.

2.4.3.1.6. Secador

Un secador típico consiste en tamices transportadores con circulación a través del sólido, conteniendo una capa de 25 a 150 mm de espesor del material que se va a secar y se transporta lentamente sobre un tamiz metálico que se mueve a través de una larga cámara o túnel de secado, donde la cámara consiste de un serie de secciones separadas, cada una con su propio ventilador y calentador de aire, a la entrada del secador.

El aire por lo general pasa hacia arriba a través del tamiz y de los sólidos, mientras que en el extremo de descarga, donde el material está seco y puede desprender polvo, el aire circula hacia abajo a través del tamiz. La temperatura y la humedad del aire son diferentes en distintas secciones con el fin de alcanzar las condiciones óptimas de secado en cada punto.

Las dimensiones de estos tipos de secadores son de 2 m de ancho y de 4 a 50 m de longitud dando lugar a intervalos de tiempo de 5 a 120 minutos. El tamaño mínimo del tamiz es de 30 mallas. Los secadores de tamiz transportador operan de forma continua y suave con una gran variedad de sólidos y su costo es razonable. La economía del vapor es alta, siendo el valor típico el de 2 kg de vapor de agua por 1 kg de agua evaporada.

2.4.3.1.7. Molino de disco

Se les conoce también como pulverizadores. El sólido avanza en un ducto por acción de un tornillo sin fin o su equivalente, y llega a un punto donde se proyecta radialmente hacia afuera, entre dos discos, las cuales tienen una convergencia radial, o sea, están más separadas entre sí en el centro de rotación que en la periferia de los discos.

Estos discos pueden ser uno fijo y el otro móvil o bien los dos móviles, en rotación opuesta. Reciben generalmente partículas de 1 cm o menos y pueden producir hasta polvos de 200 mesh. Producen un polvo muy homogéneo y su razón de reducción de tamaño, RRT, puede ser muy alta (20/1).

2.4.3.1.8. Tamizador

Al realizarse una separación de tamaño o forma de uno o más sólidos, se realiza la separación por tamizado. Existen tamices planos, fijos o vibrantes de igual forma algunos con grandes cedazos cilíndricos que estando inclinados rotan, y que en lugar de tener una pila de tamices de mayora menor tienen una variedad de secciones en serie, de diferente tamaño de mesh, apertura de malla.

Existen los tipos rotatorios que son más productivos ya que su eficiencia y grado de precisión de separación es mejor y más controlable, pues se puede jugar con el ángulo de caída y la velocidad de rotación.

La sección del tipo de mesh, será a la elección del tamaño y/o forma del sólido que se quiera obtener, para ello es conveniente consultar las normas de la serie de tamices de Estados Unidos y equivalentes de Tyler (ASTM – E – 11 – 61).

2.4.3.1.9. Silos y tolvas

Un silo es un cilindro metálico o de cemento cuyo techo es convexo y el fondo es plano. Se carga por arriba y el centro, se descarga por el centro con un transportador de sólido o tornillo sin fin u otro. Una tolva es una especie de embudo que se pone en la parte baja del contenedor de sólidos y que permite sacar en un punto más estrecho el material donde se puede poner un saco o un dosificador automático.

Las tolvas como tales acumulan poco material, y por lo tanto a menudo van unidas a un silo ubicado encima de estos. Los silo – tolva pueden tener agitación mecánica interna o externa. Se pueden hacer de madera, cemento, metal o plástico reforzado y conviene que sean de un material liso y pulido.

2.4.3.1.10. Pesaje

El pesaje de las materias primas se realiza con las balanzas electrónicas o con balanzas mecánicas. En las balanzas electrónicas, se pesan las cantidades relativamente pequeñas, hasta 6 – 8 kg. El pesaje se realiza introduciendo las materias primas en recipientes de plástico y utilizando la tara de la balanza.

Los recipientes se diferencian según su forma y color. Hay varios tipos según el producto a contener: para sólidos no adherentes (harina, azúcar...), para sólidos adherentes (margarina), para los que se tiene que tener cierto cuidado ya que son los más vulnerables a padecer contaminaciones debido a su naturaleza o envase (huevos).

En la báscula se pesan únicamente las harinas y productos molidos. El pesaje se hace con el mismo saco que las contiene.

2.4.3.1.11. Preparación de suministros

Existen ciertos suministros que deben ser preparados previamente antes de someterlos a los procesos de transformación. Es el caso de los huevos. Estos que se utilizan para la producción son frescos. Se extraen de la cáscara manualmente y se van agregando a medida que se extraen a un mismo recipiente según la cantidad que se requiera.

Otras materias que deben ser preparadas para su utilización es el azúcar por la operación de reducción de tamaño. El tamizado de la harina para deshacer agregaciones y airearla.

Los equipos empleados para la reducción de tamaño son los molinos, equipos en los cuales se encuentra un eje que hace girar a gran velocidad una serie de martillos de acero, cuenta con una tamiza que permite el paso del azúcar del tamaño deseado limitando el paso de azúcar de gran tamaño o de grumos.

2.4.3.1.12. Carro de transporte

Tienen como objetivo la transportación de la materia prima en su primera etapa de procesamiento y el transporte del producto terminado. Para ello se hará uso de elementos transportadores metálicos con cargas máximas variables.

2.4.3.1.13. Dosificador

La dosificación de ingredientes en la industria de galletería tiene importancia desde dos puntos de vida. Por un lado, la dosificación de ingredientes en un producto será la responsable de sus características sensoriales; por otro, los aditivos empleados deben dosificarse exactamente para evitar situaciones de riesgo y obtener a la vez los objetivos deseados.

Los ingredientes mayoritarios de las elaboraciones de pastelería se suelen dosificar por volumen, de forma manual en los pequeños establecimientos y automáticamente en las grandes industrias. Los ingredientes minoritarios, especialmente los aditivos, se dosifican por pesado en balanzas.

Para el transporte y/o adición de estos ingredientes o masas se dispone de elevadores automáticos y tornillos sin fin.

2.4.3.1.14. Amasado

Los ingredientes para realizar las distintas elaboraciones deben unirse entre sí para obtener una masa homogénea. Dependiendo del producto, las técnicas de mezclado varían, al igual que los equipos empleados.

Es aquí donde se obtiene una masa elástica y extensible, bien oxigenada, que no se recaliente en el proceso ni sufra procesos de rotura o cizalla. Para lograr este propósito se utilizan equipos que intentan simular el amasado manual. Las amasadoras cuentan con un sistema que permite un movimiento envolvente de la masa sobre sí misma.

Los equipos disponen de una artesa de acero o acero inoxidable y un sistema de brazos que se mueve en la masa. En estos equipos es posible que la artesa en la cual se deposita la masa gire en el sentido deseado. Los brazos pueden tener diversas formas y movimientos. Entre los más habituales se encuentran la amasadora con eje espiral y cortante, la amasadora de brazos y la amasadora de horquilla.

Los cuerpos de la maquinaria se realizan generalmente en acero o en hierro de fundición y tienen un elevado peso. Opcionalmente, estos equipos pueden contar con sistemas de elevación y volcado automático de artesas, evitando esfuerzos a los operarios. Deben contar con las protecciones adecuadas para evitar atrapamientos.

2.4.3.1.15. 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. Además las masas elaboradas por éste método suelen ser más fluidas que las amasadas.

Las batidoras son equipos que constan de un recipiente sobre el cual se sitúa un elemento giratorio compuesto de múltiples varillas que giran a gran velocidad de forma excéntrica al eje del mismo. Generalmente las varillas

además de girar sobre su eje giran alrededor del eje del bol, de forma que recorren todo el volumen del mismo. Este equipo puede acoplar en lugar de varillas otros elementos, como un brazo en espiral para el amasado o una paleta mezcladora. Todas las piezas en contacto con el alimento están construidas en acero inoxidable.

2.4.3.1.16. Moldes

El formado de los productos o de las bases que se van a emplear en la elaboración de los productos se puede realizar manualmente o de forma automática por medio de dosificadores, no obstante, se utilizan moldes para dar la forma.

Los moldes pueden ser de diversos materiales, figurando entre los más habituales el acero inoxidable, el aluminio, los materiales sintéticos como el caucho y la silicona. Los moldes metálicos se deben tratar con recubrimientos para evitar que los productos, tras la cocción se peguen.

Los materiales que se emplean para el recubrimiento de moldes pueden ser permanentes como el siliconado o el teflonado, o de un solo uso, para los cuales se utilizan papel encerado, aceites y sustancias desmoldantes.

Para dividir en porciones idénticas una masa se dispone de la divisora. Consiste en un pistón en cuyo interior se coloca la masa y con la ayuda de un émbolo de accionamiento manual se fuerza a pasar a ésta a través de una parrilla de cuchillas de acero inoxidable, dispuestas en sectores circulares, que la divide.

2.4.3.1.17. Fermentación

La fermentación se produce en masas densas, amasadas y no batidas. Consiste en un proceso por el cual la levadura consume azúcares de la masa y produce dióxido de carbono y etanol, que al quedar atrapados en la red de proteínas formadas en el amasado hacen que el producto aumente de volumen además de contribuir al aroma y sabor.

El proceso de fermentación se puede realizar en armarios cerrados a temperatura ambiente, con lo cual se tiene muy poco control sobre el mismo, dependiendo en exceso de las condiciones ambientales de humedad y temperatura, o en cámaras de fermentación controlada, en las que se controla la temperatura y humedad, pudiéndose programar las condiciones óptimas para cada producto. Se comercializan cámaras de fermentación en las cuales los productos se mantienen a bajas temperaturas que ralentizan la fermentación, reanudándola en el momento programado.

2.4.3.1.18. Hornos

En el proceso de cocción se producen diversos efectos sobre las masas. Se aumenta la digestibilidad de los ingredientes, se modifican los caracteres organolépticos y se incrementa su estabilidad y durabilidad al eliminarse los microorganismos.

El aumento en la digestibilidad es debido a múltiples efectos. Durante la fermentación se degradan las moléculas de almidón a azúcares más simples. En la cocción las proteínas presentes se desnaturalizan total o parcialmente, el almidón se gelatiniza, la amilosa emigra de los gránulos de almidón y estos pierden su estructura cristalina hidratándose.

Los caracteres organolépticos se desarrollan en la etapa de cocción, siendo una de las principales vías las reacciones entre azúcares reductores y aminas denominadas reacción de Maillard.

En la cocción de los alimentos, principalmente en el horneado, se utilizan tratamientos térmicos con temperaturas generalmente superiores a 200 °C durante períodos superiores a 15 minutos. La parte externa de los productos alcanza temperaturas superiores a los 100 °C, pero en el interior, el proceso de evaporación del agua refrigera el producto, no alcanzándose temperaturas superiores a 100 °C. Estas temperaturas son suficientes para la inactivación de las formas vegetativas de la mayoría de los microorganismos.

Existen diversos tipos de hornos, tanto en su concepción como en sus posibilidades y capacidad. Obviando las diferencias que existen en cuanto al combustible utilizado (leña o carbón, gas o electricidad).

El horno usado para la fabricación de galletas es el horno de bandejas, que es un tipo modular, con una o varias alturas. Permiten un extraordinario control de las condiciones de horneado al poderse fijar de manera independiente la temperatura del techo y del suelo de cada módulo. Son hornos elaborados con materiales refractarios forrados tanto en su interior como en su exterior con acero. Disponen de puertas abatibles.

2.4.3.1.19. Enfriado

La línea de galletería no se somete a controles de temperatura ya que debido al tamaño de las piezas, éstas alcanzan la temperatura apta para su envasado poco tiempo después de su horneado. Además es un control destructivo, pues se destina a una o dos piezas a ello.

También es debido a que los controles de la temperatura se realizan principalmente para evitar la aparición de mohos sobre la superficie de los productos envasados antes de finalizar su vida útil. Como la actividad de agua de los productos de la línea de galletería es baja carecen de ese peligro.

La línea de galletas se envasa cuando la temperatura en el centro de la pieza de control es de 30 °C o inferior.

2.4.3.1.20. Empaquetadora

Entendemos como envasado las operaciones encaminadas a dotar de una protección permanente y resistente frente a las agresiones externas de los alimentos.

Dentro del envasado de productos de galletería se puede decir que la mayoría de los equipos son envasadoras individuales de productos en envases de plástico termosellado. Estas máquinas consisten en una cinta que posiciona y transporta los productos hasta un embudo formado por la lámina de plástico, la cual sufre un termosellado longitudinal. A continuación se procede a su sellado transversal y a su corte. Para finalizar las piezas individuales se pueden embalar en cajas de cartón.

2.4.3.1.21. Almacenaje

El almacenaje del producto final se realizara a temperatura ambiente donde los productos sin stock tiene una duración máxima de 12 horas, hasta la preparación de pedidos y la posterior expedición.

Los productos en stock, galletería, son almacenados durante un máximo de 15 días.

2.4.3.1.22. Producción de la galleta

La producción de la galletería inicialmente no se realizara a diario. Esta empezara elaborándose dos días a la semana. La producción funcionara según un sistema con semejanzas al JIT (Just in time). La ventaja de este sistema es su búsqueda por reducir los inventarios a niveles muy bajos, mientras que en el sistema tradicional los materiales se suministran y transfieren al siguiente proceso sin tener en cuenta el nivel de la demanda existente.

Las condiciones de almacenaje de los productos elaborados son las mismas que para los suministros.

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Variables

Como resultado del estudio y recopilación de artículos de revistas científicas y trabajos de graduación de diferentes Facultades y Universidades extranjeras sobre los factores que influyen en el diseño de una línea de producción como en el análisis químico nutricional de harina de trigo enriquecida para obtener una galleta, se determinaron las variables de entrada a modificar para medir el efecto sobre los resultados, así como los factores que se mantuvieron constantes.

Tabla VII. Definición operacional de las variables, para el análisis químico de las propiedades nutricionales de la harina de trigo enriquecida con Paraíso Blanco (*Moringa oleifera*)

No.	Variable	Formula Química	Factor potencial de diseño		Factores perturbadores	
			Constante	Variable	Controlables	No Controlables
Separación y cuantificación de las clases de lípidos por cromatografía en capa fina de alta resolución (HPTLC) seguida de exploración densitométrica						
1	n - Butanol	C ₄ H ₁₀ O	X		X	
2	Hexano : Éter Etílico (1:1 V/V)	C ₆ H ₁₄ / C ₄ H ₁₀ O	X		X	
3	Cloroformo : Metanol (2:1 V/V)	CHCl ₃ / CH ₃ OH	X		X	
4	Acetato de Metilo : Isopropanol : Cloroformo : Metanol : Cloruro de Potasio acuoso al 0.25% (10:10:10:4:3,6 V/V)	C ₃ H ₆ O ₂ / C ₃ H ₈ O / CHCl ₃ / CH ₃ OH / KCl		X	X	

5	Hexano : Éter Etilico : Ácido Acético (30:5,3:0,53 V/V)	$C_6H_{14} / C_4H_{10}O /$ $C_2H_4O_2$	X		X	
6	Acetato Cúprico 3% (W/V) en Ácido Fosfórico Acuoso 8% (V/V)	$C_2H_6O_4Cu / H_3PO_4$		X		X
7	Lípidos	-		X		X
Determinación de azúcares y ácidos grasos por cromatografía de gases (GC) y cromatografía de gases en espectro de masas (GC/MS)						
1	Metanol	CH_3OH	X		X	
2	Piridina	C_5H_5N	X		X	
3	Anhídrido Acético	$C_4H_6O_3$	X		X	
4	Ácido Margárico 0.1 mM en Cloroformo : Metanol (2:1)	$C_{17:0} / CHCl_3 /$ CH_3OH	X		X	
5	Ácido Clorhídrico (1.57 M en Metanol)	HCl / CH_3OH		X		X

6	Acetato de Metilo (25% V/V)	$C_3H_6O_2$		X		X
7	Hexano	C_6H_{14}	X		X	
8	t – Butanol	$C_4H_{10}O$		X		X
9	Agua	H_2O	X		X	
10	Tri – Sil	$C_6H_{19}NSi_2$		X		X
11	Ciclohexano	C_6H_{12}		X	X	
12	Iso – Octano	C_8H_{18}		X	X	
13	Azúcares y Ácidos Grasos	-		X		X
Determinación de ácidos grasos de los lípidos de líquenes						
1	Ácido Clorhídrico (1.75 M en Metanol)	HCl / CH_3OH	X		X	
2	Hexano	C_6H_{14}	X		X	
3	Agua	H_2O	X		X	
4	Ácidos Grasos de los Lípidos	-		X		X

Análisis de fibra alimentaria por el método de Southgate modificado

1	Etanol (70% V/V)	C ₂ H ₆ O	X		X	
2	Éter Eílico	C ₄ H ₁₀ O		X		X
3	Agua Destilada	H ₂ O	X		X	
4	Etanol Absoluto	C ₂ H ₆ O		X		X
5	Solución Tapón Acetato (2 M)	C ₂ H ₃ O ₂ ⁻	X		X	
6	Takadiastasa (Fluka)	-	X		X	
7	Tolueno	C ₆ H ₅ CH ₃		X		X
8	Ácido Sulfúrico (5% P/V)	H ₂ SO ₄	X		X	
9	Etanol (80% V/V)	C ₂ H ₆ O	X		X	
10	Etanol (50% V/V)	C ₂ H ₆ O		X		X
11	Ácido Sulfúrico (72% P/V)	H ₂ SO ₄	X		X	

12	Fibra Alimentaria	-		X		X
Determinación de proteínas en muestras sólidas por el método de Kjeldahl						
1	Sulfato de Potasio	K_2SO_4	X		X	
2	Sulfato de Cobre	$CuSO_4$	X		X	
3	Ácido Sulfúrico	H_2SO_4	X		X	
4	Agua	H_2O	X		X	
5	Zinc	Zn		X		X
6	Fenolftaleína	$C_{20}H_{14}O_4$	X		X	
7	Hidróxido de Sodio (30% P/P)	NaOH		X		X
8	Ácido Sulfúrico (0.1 N)	H_2SO_4		X		X
9	Proteínas	-		X		X

Determinación de azúcares totales por el método del fenol – sulfúrico						
1	Fenol (5% P/V)	C_6H_5OH	X		X	
2	Ácido Sulfúrico	H_2SO_4	X		X	
3	Glucosa	$C_6H_{12}O_6$	X		X	
4	Azúcares Totales	-		X		X
Determinación de azúcares reductores por el método de Somogyi – Nelson						
1	Sulfato Cúprico Pentahidratado	$CuSO_4 \cdot 5H_2O$	X		X	
2	Carbonato Sódico	Na_2CO_3	X		X	
3	Bicarbonato Sódico	$NaHCO_3$	X		X	
4	Tartrato Sódico Potásico	$KNaC_4H_4O_6 \cdot 4H_2O$	X		X	
5	Sulfato Sódico Decahidratado	$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$	X		X	
6	Molibdato amónico	$(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$	X		X	

7	Ácido Sulfúrico	H_2SO_4	X		X	
8	Arseniato Disódico	-	X		X	
9	Óxido Cuproso	Cu_2O		X		X
10	Glucosa	$C_6H_{12}O_6$	X		X	
11	Agua Destilada	H_2O	X		X	
12	Azúcares Reductores	-		X		X
Determinación de azúcares como acetatos de alditol						
1	Ácido Trifluoroacético, (2 M)	$C_2HO_2F_3$	X		X	
2	Myo – Inositol	$C_6O_6H_6$	X		X	
3	Borohidruro de Sodio (0.5 M en Amoniac a 2 M)	$NaBH_4 / NH_3$	X		X	
4	Acetona	C_3H_6O	X		X	

5	Ácido Acético	$C_2H_4O_2$	X		X	
6	Acetato de Etilo	$C_4H_8O_2$	X		X	
7	Anhídrido Acético	$C_4H_6O_3$	X		X	
8	Ácido Perclórico	$HClO_4$	X		X	
9	Agua Destilada	H_2O	X		X	
10	1 – metilimidazol	$C_4H_6N_2$	X		X	
11	Diclorometano	CH_2Cl_2	X		X	
12	Azúcares	-		X		X

Fuente: Laboratorio de Alelopatía, Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias, Universidad de Cádiz, España.

Tabla VIII. **Definición operacional de las variables, para la evaluación descriptiva de la galleta hecha con la harina de trigo enriquecida con Paraíso Blanco (*Moringa oleifera*)**

No.	Variable	Dimensional	Factor potencial de diseño		Factores perturbadores	
			Constante	Variable	Controlables	No Controlables
Realización de una evaluación descriptiva de la galleta en base a la escala hedónica.						
1	Escala hedónica	-		X	X	

Fuente: Laboratorio de Alelopatía, Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias, Universidad de Cádiz, España.

Tabla IX. **Definición operacional de las variables, para el diseño de una línea de producción de galletas a partir de la harina de trigo enriquecida con Paraíso Blanco (*Moringa oleifera*)**

No.	Variable	Dimensional	Factor potencial de diseño		Factores perturbadores	
			Constante	Variable	Controlables	No Controlables
Diseño de una línea de producción para la elaboración de una galleta a partir de la harina de trigo enriquecida						
1	Diseño conceptual	-		X	X	
2	Diseño básico	-		X	X	

Fuente: Laboratorio de Alelopatía, Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias, Universidad de Cádiz, España.

3.1.2. Variables independientes

- Separación y cuantificación las clases de lípidos por cromatografía en capa fina de alta resolución (HPTLC) seguida de exploración densitométrica
 - ✓ Acetato de Metilo: Usado como eluyente para el primer desarrollo de la placa HPTLC.
Isopropanol : Cloroformo :
Metanol : Cloruro de Potasio acuoso al 0.25%
(10:10:10:4:3.6 V/V)
- Determinación de azúcares y ácidos grasos por cromatografía de gases (GC) y cromatografía de gases en espectro de masas (GC/MS)
 - ✓ Ciclohexano Se usa como disolvente antes de inyectar en la cromatografía de gases.
 - ✓ Iso – Octano Se usa como disolvente antes de inyectar en la cromatografía de gases.
- Diseño de una línea de producción para la elaboración de una galleta a partir de la harina de trigo enriquecida

- ✓ Ácido Clorhídrico 1.75 M en Metanol Reactivo usado como disolvente para producir una reacción de metanolisis, depende del residuo obtenido de *N – acetilación*.
 - ✓ Acetato de Metilo 25% V/V Disolvente usado para la metanolisis.
 - ✓ *t* – Butanol Usado en la fase acuosa (FA) de la extracción en la metanolisis para obtener los metilglucósidos de los azúcares.

- Determinación de ácidos grasos de los lípidos de líquenes
 - ✓ Ácidos Grasos de los Lípidos La cantidad de Ácidos Grasos se obtiene en función del extracto de lípidos obtenido de la muestra original y que son separados de esta.

- Análisis de fibra alimentaria por el método de Southgate modificado
 - ✓ Éter Etílico Funciona como un disolvente que extrae el exceso de etanol al 70% que queda en la muestra al finalizar la extracción.

- ✓ Etanol Absoluto
Usado como disolvente en el tratamiento de los extractos acuosos. Este depende del residuo obtenido en la etapa anterior de extracción con agua.

 - ✓ Tolueno
El tolueno es agregado en gotas como un catalizador para acelerar la reacción de hidrólisis que está en función de la muestra original expuesta.

 - ✓ Etanol (50% V/V)
Sirva como medio de lavado posterior a la digestión de Takadiastasa.

 - ✓ Fibra Alimentaria
Depende de la cantidad de muestra utilizada desde el inicio y que los procesos hasta su obtención y cuantificación se realicen de tal manera que se minimicen las pérdidas de esta.
- Determinación de proteínas en muestras sólidas por el método de Kjeldahl
 - ✓ Zinc
El Zinc es añadido antes del proceso de destilación del residuo obtenido de la digestión, y este está en función de ácido sulfúrico presente en la muestra.

- ✓ Ácido Sulfúrico (0.1 N) Volumen variable en el cual se recoge el destilado.
 - ✓ Hidróxido de Sodio Usado como titulante para conocer la concentración resultante de ácido sulfúrico contenida en el destilado anterior.
 - ✓ Proteínas El porcentaje de proteínas contenidas está en función de la valoración del Ácido Sulfúrico con Hidróxido de Sodio
- Determinación de azúcares totales por el método del fenol – sulfúrico
 - ✓ Azúcares Totales La determinación de los Azúcares Totales depende de los cromóforos que produzca en presencia del fenol en medio ácido concentrado.
- Determinación de azúcares reductores por el método de Somogyi – Nelson
 - ✓ Óxido Cuproso Resultado de una reacción incompleta, el cálculo de este compuesto en la solución sirva para la obtención de Azúcares Reductores en la solución.

- ✓ Azúcares Reductores Dependenden de la cantidad de Óxido Cuproso cuantificado así como del análisis de espectro realizado y correlacionado con la concentración de azúcar a través de la recta de calibrado.
- Determinación de azúcares como acetatos de alditol
 - ✓ Azúcares El porcentaje de Azúcares cuantificados se expresa en general por el rompimiento del enlace carbonilo y la formación de alditoles.
- Realización de una evaluación descriptiva de la galleta en base a la escala hedónica
 - ✓ Escala Hedónica Esta variable es dependiente de un evaluación sensorial que se realizará a una muestra de población determinada y de su opinión sobre empaque, apariencia física y sabor entre otras de la galleta.
- Diseño de una línea de producción para la elaboración de una galleta a partir de la harina de trigo enriquecida

- ✓ Diseño Básico
- Es la concreción del diseño conceptual en cuanto a la definición de las variables de operación y los parámetros de construcción de los equipos.

3.2. Delimitación de campo de estudio

- ÁREA: Alimenticia
- INDUSTRIA: Alimentos
- PROCESO: Diseño de un proceso para la obtención de una galleta a partir de harina de trigo enriquecida con Paraíso Blanco (*Moringa oleifera*) y su respectiva evaluación nutricional.
- ETAPA DEL PROCESO: Evaluación nutricional de la harina de trigo enriquecida con Paraíso Blanco (*Moringa oleifera*) para la obtención de una galleta.
- UBICACIÓN: La hoja seca del árbol Paraíso Blanco (*Moringa oleifera*), a evaluar se obtendrá de un invernadero ubicado en Almería, España.

El análisis químico de las propiedades nutricionales se realizará en el Laboratorio de Alelopatía del Departamento de Química Orgánica de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Cádiz, Puerto Real, España.

- CLIMA: El clima en el que puede existir este tipo de árbol, Paraíso Blanco (*Moringa oleifera*), es muy extremo yendo desde los 5 °C hasta temperaturas que rondan los 40 °C.

3.3. Recursos humanos disponibles

Investigador	:	Luis Ernesto Ruiz Funes
Asesor en España	:	Dr. José Manuel Igartuburu
Asesora en Guatemala	:	Inga. Qca. Hilda Palma

3.4. Recursos materiales disponibles (equipo, material de vidrio, reactivos)

En el presente proyecto de investigación se hizo uso de las siguientes materias primas, reactivos, cristalería y equipos. Todo con la meta de cumplir los objetivos expuestos.

3.4.1. Materia prima y reactivos

- Harina de la hoja seca de *Moringa oleifera*
- Harina de Trigo
- 1 – Metilimidazol
- Acetato Cúprico
- Acetato de Etilo
- Acetato de Metilo
- Acetona
- Ácido Acético
- Ácido Clorhídrico
- Ácido Fosfórico
- Ácido Margárico
- Ácido Perclórico
- Ácido Sulfúrico
- Ácido Trifluoroacético
- Agua
- Agua destilada
- Anhídrido Acético
- Arseniato Disódico
- Bicarbonato Sódico
- Borohidruro de Sodio
- Carbonato Sódico
- Ciclohexano
- Cloroformo
- Cloruro de Potasio
- Diclorometano
- Etanol

- Éter Etílico
- Fenol
- Fenolftaleína
- Glucosa
- Hexano
- Hidróxido de Sodio
- *Iso* – Octano
- *Iso*propanol
- Metanol
- Molibdato Amónico
- *Myo* – Inositol
- n - Butanol
- Óxido Cuproso
- Piridina
- Solución Tapón Acetato
- Sulfato Cúprico Pentahidratado
- Sulfato de Cobre
- Sulfato de Potasio
- Sulfato Sódico Decahidratado
- *t* – Butanol
- Takadiastasa (Fluka)
- Tartrato Sódico Potásico
- Tolueno
- Tri – Sil
- Zinc

3.4.2. Material de vidrio

- 1 Vaso de precipitado de 2000 mL
- 1 Vaso de precipitado de 50 mL
- 1 Bureta de 25 mL
- 1 Caja de Papel Filtro
- 1 Jeringuilla Hamilton de 10 μ L
- 1 Matraz de Fondo Redondo de 100 mL
- 1 Mortero
- 1 Pipeta Automática de 50 μ L
- 1 Pipeta Automática de 500 μ L
- 1 Probeta de 50 mL
- 1 Vaso de Precipitado de 200 mL
- 2 Ampollas de decantación de 25 mL
- 2 Balón aforado de 1 L
- 2 Balón Aforado de 100 mL
- 2 Vaso de precipitado de 200 mL
- 2 Pipetas Automáticas de 10 mL
- 2 Vidrio de Reloj
- 3 Espátulas
- 4 Embudos
- 4 Picetas
- 5 Vaso de precipitado de 25 mL
- 5 Termómetros de 100 °C
- 5 Tubos de Hidrólisis
- 5 Tubos de Ensayo de 25 mL
- 5 Varillas de Agitación

3.4.3. Equipo

3.4.3.1. Equipo de laboratorio químico

- Balanza analítica marca Ohaus Adventurer 0.0001g
- Plancha de calentamiento marca Ohaus
- Equipo de destilación por reflujo, marca kimax 24'40
- Centrífuga, IEC HN-S II, Centrifuge
- Horno de bandeja de flujo transversal

3.4.3.2. Separación y cuantificación de lípidos

- Rotavapor, marca BUCHI
- Densitómetro, Marca SHIMADZU DUAL WAVELENGTH FLYING – SPOT SCANNET CS – 9000
- Desecador al vacío
- Cromatógrafo en capa fina de alta resolución

3.4.3.3. Determinación de azúcares y ácidos grasos

- Secador con corriente de aire
- Estufa de vacío
- Cromatógrafo de gases
- Cromatógrafo de gases en espectro de masas

3.4.3.4. Determinación de los ácidos grasos de los lípidos

- Cromatógrafo de gases
- Secador con corriente de nitrógeno

3.4.3.5. Análisis de fibra alimentaria por el método de Southgate modificado

- Matraz de fondo redondo
- Condensador de bolas
- Placa filtrante Büchner
- Centrífuga, IEC HN-S II, Centrifuge

3.4.3.6. Determinación de proteínas en muestras sólidas

- Equipo Kjeldahl completo

3.4.3.7. Determinación de azúcares totales

- Espectrofotómetro UV-vis

3.4.3.8. Determinación de azúcares reductores

- Espectrofotómetro UV-vis

3.4.3.9. Determinación de azúcares como acetatos de alditol

- Secador en corriente de aire comprimida

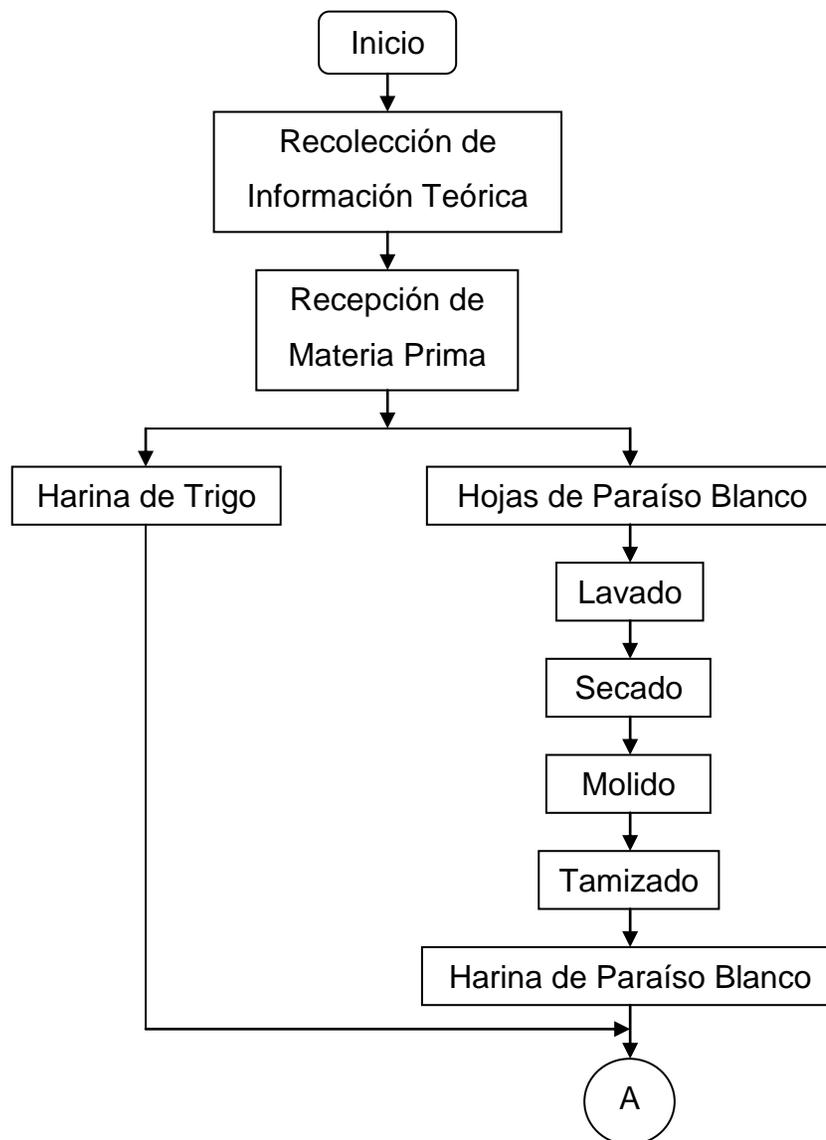
3.4.3.10. Diseño de una línea de producción

- Computador
- Software de diseño

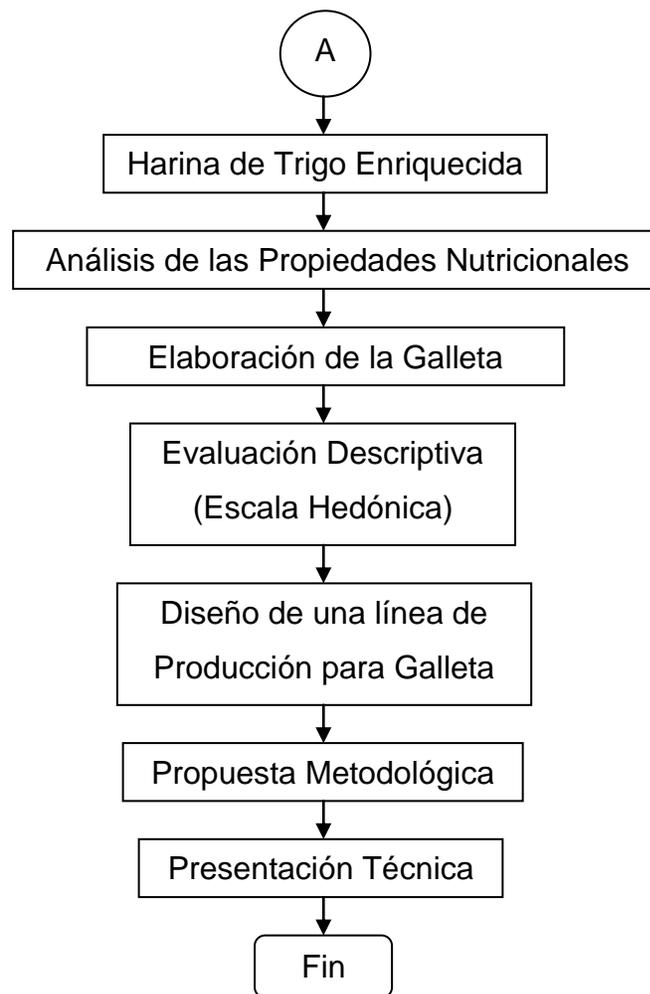
3.5. Técnica cuantitativa

3.5.1. Diseño general

Figura 22. Diagrama de flujo del proceso



Continuación figura 22



Fuente: elaboración propia

3.5.2. Diseño de una línea de producción para la galleta

EL diseño de la línea de producción para la galleta se realizó utilizando un software de computador, esto con el objetivo de poder dimensionar la maquinaria y equipo utilizado.

3.5.3. Preparación de los procesos a seguir para la evaluación y obtención de una galleta a partir de harina de trigo enriquecida con Paraíso Blanco (*Moringa oleifera*)

La evaluación y obtención de una galleta a partir de harina de trigo enriquecida con Paraíso Blanco (*Moringa oleifera*), se realizó con distintas metodologías, las cuales fueron descritas en el Diseño General.

3.5.4. Obtención de la harina de la hoja de Paraíso Blanco (*Moringa oleifera*)

Para obtener la harina a partir de la hoja de Paraíso Blanco, fue necesario preparar la misma desde un lavado posterior a la recepción para desinfectar y prevenir así posibles anomalías. El lavado consistió en dos etapas el lavado inicial para quitar la suciedad de las hojas y el lavado final que fue agua clorada a 60 ppm por un tiempo estimado de 20 minutos. Donde el agua utilizada estaba a temperatura ambiente.

El secado se realizó en un horno de bandejas de flujo transversal, con el propósito de deshidratar la hoja y facilitar la reducción de tamaño en un molino de martillo para posteriormente tamizar con un número de malla de 325 mm.

3.5.5. Preparación de la harina de trigo enriquecida

El proceso de la harina de trigo enriquecida se llevó a cabo mezclando distintas proporciones de harina de trigo con harina de Paraíso Blanco (*Moringa oleifera*). En total se prepararon 5 muestras con distintos porcentajes en peso, como lo muestra la siguiente tabla.

Tabla X. **Mezclas de harina de trigo con polvo de Paraíso Blanco (*Moringa oleifera*)**

Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4	Mezcla 5
HT 100%/ HP 0%	HT 70% / HP 30%	HT 50% / HP 50%	HT 30% / HP 70%	HT 0% / HP 100%

Fuente: Laboratorio de Alelopatía, Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias, Universidad de Cádiz, España.

HT: Harina de Trigo

HP: Harina de Paraíso Blanco (*Moringa oleifera*)

3.5.6. Análisis de las propiedades nutricionales de la harina de trigo enriquecida

Este conjunto de análisis químicos se realizó en el Laboratorio de Alelopatía del Departamento de Química Orgánica de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Cádiz del Campus de Puerto Real, España. La harina enriquecida en las distintas proporciones fue sometida a distintos protocolos de experimentación para determinar entre otros Lípidos, Azúcares Totales, Ácidos Grasos, Proteínas, etc.

3.5.7. Elaboración de la galleta

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 galleta nutritiva y crujiente.

3.5.8. Evaluación descriptiva de la galleta por la escala hedónica

Este análisis se realizó en distintos lugares, y a una muestra de población variada. Consistió en la preparación de las galletas basándose en las cinco composiciones distintas presentadas con anterioridad. Y su respectiva evaluación sensorial, para conocer la opinión de los encuestados sobre propiedades organolépticas así como presentación del producto.

3.6. Recolección y ordenamiento de la información

La harina de trigo enriquecida con Paraíso Blanco (*Moringa oleifera*), se obtuvo por el método convencional para obtener harinas, que es deshidratar la materia prima para luego moler y tamizar hasta una granulometría requerida. Esta harina puede ser empleada en la industria alimentaria ya que tiene características particulares que se adecuan a los requerimientos de esta industria y sus productos.

La harina de trigo enriquecida con Paraíso Blanco (*Moringa oleifera*), fue analizada en cinco mezclas que contienen distintas cantidades de harina de trigo como harina de Paraíso Blanco (*Moringa oleifera*). Esto para determinar cuál de estas composiciones tiene la mayor cantidad de nutrientes que favorecen a la ingesta humana diaria. Las propiedades hasta ahora analizadas y estudiadas para este árbol concluyen que es comestible en su totalidad y no tiene compuestos químicos que pueden ser dañinos para el ser humano.

Tabla XI. **Datos nutricionales de la hoja fresca y deshidratada del Paraíso Blanco (*Moringa oleifera*)**

Propiedades	Hoja Fresca	Hoja Deshidratada a 60° C
Humedad (%)	80.56	6.55
Proteínas (g)	4.62	23.81
Fenilalanina* (mg)	182	936
Tirosina* (mg)	183	942
Histidina* (mg)	140	720
Isoleucina* (mg)	214	1096
Leucina* (mg)	270	1384
Lisina* (mg)	20	98
Metionina* (mg)	90	462
Treonina* (mg)	216	1112
Valina* (mg)	258	1328
Ácido Aspártico + Cisteína	652	3352
Ácido Glutámico + Glutamina	868	4462
Serina	107	550
Glicina	234	1200
Alanina	222	1140

Fuente: Sanchinelli Pezzarossi, Karol Beatriz. "Contenido de proteína y aminoácidos, y generación de descriptores sensoriales de los tallos, hojas y flores de *Moringa oleifera* Lamark (Moringaceae) cultivada en Guatemala". Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, 2004. Pág. 34.

100 g de Muestra

* Aminoácidos esenciales

3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

La fase experimental de este proyecto se inicia con un análisis que se realizó a las distintas mezclas mostradas en la tabla X, en base a una extracción Soxhlet con distintos tipos de disolvente en orden establecido, los cuales son: Hexano, Diclorometano, Acetona y Metanol. El orden se estable en base a su polaridad de forma ascendente, por lo tanto el Hexano arrastrara consigo a los compuestos no polares como grasas y el Metanol lo hará igual para compuestos polares como los aminoácidos y azúcares libres. Existiendo intermedio a estos disolventes el arrastre de colorantes y pigmentos que tengan una polaridad media en Diclorometano y Acetona.

Dichas extracciones se dejaron un aproximado de 12 horas para que se extraiga la mayor cantidad de sustancias por agotamiento. El disolvente con los compuestos extraídos fue trasvasado a un balón previamente tarado, y se llevó a sequedad en rotavapor. Cuando todo el disolvente se evaporó, se pesó la cantidad de material presente en el balón y se calculó el rendimiento del proceso.

El material extraído en el balón se redisolvió en una cantidad pequeña del disolvente utilizado y fue trasladado con la ayuda de una pipeta pauster a un vial de 2 mL que se llevó a sequedad en rotavapor para obtener la mejor calidad de la materia. Si todo el material contenido en el balón no se disuelve en el disolvente es necesario llevar dicho recipiente un par de minutos al mezclador por ultrasonido y así poder transferir la mayor cantidad del extracto.

La materia y producto aquí obtenido sirvió en los distintos análisis químicos realizados a las distintas mezclas.

3.7.1. Separación y cuantificación de las clases de lípidos por cromatografía en capa fina de alta resolución seguida de exploración densitométrica

3.7.1.1. Extracción de las muestras

Se pone 1,000 g de muestra en contacto con 20 mL de *n*-Butanol saturado de agua en el fondo de un vaso de precipitado de 200 mL y se someten a agitación magnética durante 30 min. al término de los cuales se procede a filtrar a vacío en Buchner.

El residuo sólido se lava con 2 porciones de 10 mL de *n*-Butanol saturado de agua. Se reúnen los filtrados, que se concentran en rotavapor a temperatura no superior a 40 °C, obteniéndose los lípidos extraídos de las lías.

3.7.1.2. Análisis de la composición de los lípidos por HPTLC (High Performance Thin Layer Chromatography)

Las placas para HPTLC son de silicagel 60, 10x10 cm, sin indicador de fluorescencia, Merck 5631.

El equipo para efectuar la exploración densitométrica es un SHIMADZU DUAL WAVELENGTH FLYING-SPOT SCANNER CS-9000.

3.7.1.3. Activación de las placas para HPTLC

Eluir la placa con 50 mL de hexano:eteretílico (1:1 V/V) sin BHT. Cuando el frente del disolvente llegue al extremo superior de la placa, se continúa la elución durante 10 min.

Rascar 5 mm de silicagel en el extremo superior de la placa para eliminar posibles impurezas y a continuación secar la placa en desecador a vacío. Activar la placa a 110 °C durante 30 min.

3.7.1.4. Elución o desarrollo de las placas

Lavar una jeringuilla Hamilton de 10 µL con cloroformo:metanol (2:1 V/V) y aplicar con ella 1.5 µL de los lípidos patrones y las muestras de lípidos sobre la placa HPTLC, a una distancia entre sí de 1.5 cm y a 1 cm de la base de la placa. A continuación dejar secar.

Efectuar el primer desarrollo de la placa con 30 mL aproximadamente de acetato de metilo:isopropanol:cloroformo:metanol:KCl acuoso al 0.25% (10:10:10:4:3.6 V/V). La elución se lleva a cabo hasta 6 cm de la placa y posteriormente se seca en desecador a vacío durante 5 a 10 min.

El segundo desarrollo de la placa se hace con otros 30 mL de hexano:éteretílico: ácido acético (30:5.3:0.53 V/V) y la elución se hace hasta unos mm del extremo de la placa. Posteriormente se seca en desecador a vacío durante 5 a 10 min.

3.7.1.5. Revelado de la placa

La placa HPTLC ya desarrollada se pulveriza con una disolución que contiene acetato cúprico 3 % (W/V) en 8 % (V/V) de ácido fosfórico acuoso y se introduce en una estufa a 160 °C durante 20 min.

3.7.2. Determinación de azúcares y ácidos grasos por GC y GC/MS

Se realiza en tres etapas

- a) *N*-acetilación
- b) Metanolisis
- c) Derivatización y análisis

3.7.2.1. *N*-acetilación

5 mg de muestra se disuelven en 300 µL de agua en un tubo de hidrólisis provisto de tapón de rosca con junta de teflón. Si no se disuelve, se añaden 300 µL de MeOH.

Se añaden entonces 200 µL de piridina y a los 10 minutos 75 µL de Ac₂O, se esperan 10 minutos y se vuelven a añadir 75 µL de Ac₂O, se esperan 10 minutos y se añaden otros 50 µL de Ac₂O (total 200 µL de Py: Ac₂O 1:1).

Se deja 30 minutos a temperatura ambiente, con agitación ocasional, y se lleva a sequedad sumergiendo los viales en un baño de agua a 50 °C y en corriente de aire seco.

Una vez seco, se lava el precipitado añadiendo dos porciones de 500 μ L de MeOH y llevando a sequedad.

Antes de la última adición de metanol se añaden 20 μ L de solución 0.1 mM de C17:0 en CHCl_3 : MeOH 2:1 como IS para el análisis de ácidos grasos.

Tras llevar a sequedad en corriente de aire seco, se dejan las muestras toda la noche en una estufa de vacío a 45 $^{\circ}\text{C}$

3.7.2.2. Metanolisis

El residuo de la etapa anterior se metanoliza calentándolo a 80 $^{\circ}\text{C}$, durante 15-18 h con HCl 1.57 M en MeOH (se consigue mezclando a partes iguales una solución 3 M y otra 0.5 M de HCl en MeOH, en presencia de un 25% (V/V de AcOMe. La relación sólido/líquido entre la muestra original y el HCl/MeOH es 2.5:1 (5 mg/2 mL).

Paralelamente se metanoliza una muestra de patrones que contiene 100 nmoles (10 μ L de una solución 1 mM) de 10 azúcares utilizando 0.4 mL de HCl/MeOH y 0.1 mL de AcOMe.

Transcurridas las 15-18 h de reacción la muestra se enfría, se añade 1 mL de agua y se extrae 3 veces con 4 mL de Hexano, en un tubo de centrifuga con tapón de rosca, centrifugando 5 minutos a máxima velocidad para favorecer la separación de fases.

A la fase acuosa (FA) de la extracción, que contiene los metilglucósidos de los azúcares, se le añaden varias gotas de *t*-butanol y se lleva a sequedad en corriente de aire. Y se deja toda la noche en la estufa de vacío.

Las fases orgánicas combinadas se concentran hasta unos 4 mL y se extraen 2 veces con 4 mL de agua, descartamos la fase acuosa y la fase orgánica se transfiere a un vial de análisis de 2 mL y se lleva a sequedad en corriente de aire tras lo cual se deja una noche a vacío en la estufa. Y se usa para el análisis por GC/MS de los ácidos grasos.

3.7.2.3. Nueva N-acetilación

Las muestras de azúcar (FA) se disuelven en 30 μ L de MeOH y se añaden 30 μ L de piridina y 30 μ L de Ac₂O (20 μ L para los patrones) y se dejan 1 h a temperatura ambiente.

Transcurrida esta se lleva a sequedad en corriente de aire y se deja de 40 a 100 minutos en la estufa de vacío.

3.7.2.4. Formación de los TMS-derivados

A la muestra seca se le añade el reactivo de derivatización, Tri-Sil.

Patrones: 50 μ L

Muestras 100 μ L

Usando una pipeta seca. Se dejan de 30 a 60 minutos a temperatura ambiente y se lleva a sequedad en corriente de aire, a temperatura ambiente, para evitar la pérdida de los TMS de las pentosas y desoxihexosas (rhamnosa y arabinosa fundamentalmente.)

Una vez secos se disuelve en ciclohexano o *iso* - octano justo antes de inyectar en el cromatógrafo de gases (GC)

Patrones: 500 μ L

Muestras: 5 mg/4 mL; mantener la relación.

3.7.3. Determinación de los ácidos grasos de los lípidos

Se depositan de 1 – 5 mg del extracto de lípidos (obtenido por una extracción Soxhlet con hexano y rotavaporado hasta eliminar totalmente a este último) en un tubo de ensayo con tapón de rosca provisto de membrana de teflón de 25 mL de capacidad y se añaden 2 mL de una disolución de ácido clorhídrico 1.75 M en MeOH (Se obtiene mezclando dos ampollas de HCl 0.5 M y 3 M respectivamente).

Al tubo se le pasa una corriente de argón durante 2 minutos, transcurridos los cuáles se cierra herméticamente y se calienta a 60 °C durante 18-24 horas.

Una vez fría, se lleva a sequedad la disolución de metilésteres en corriente de aire y se realiza una extracción adicionando 3 mL de hexano y 1 mL de agua. Se agita y se pipetea la fase superior. A continuación, se repite la extracción añadiendo las mismas cantidades de hexano y agua.

La disolución de metilésteres en hexano se lleva a sequedad con corriente de nitrógeno y se redisuelve con 200 μ L de hexano justo antes de inyectar en el cromatógrafo de gases (GC) y espectro de masas (MS).

3.7.4. Análisis de fibra alimentaria por el método de Southgate modificado

3.7.4.1. Extracción con etanol a 70%

Se pesan 2 g de la muestra desgrasada (obtenida como al principio de este inciso se dijo después de las cuatro extracciones mencionadas con los distintos solventes. Es la muestra que se coloca en el cartucho poroso del extractor Soxhlet) y se suspenden en 25 mL de etanol del 70 % en un matraz de fondo redondo de 100 mL. Provisto de un dispositivo de reflujo, se lleva a ebullición durante 15 minutos. Se filtra en caliente a través de papel Whatman N°1 y sobre una placa filtrante Büchner. El residuo se vuelve a extraer dos veces más. Por último, se lava varias veces con éter etílico y se lleva a sequedad durante una noche en el desecador a temperatura ambiente.

Con este tratamiento se extraen los azúcares libres de la muestra que no forman parte de la pared celular, así como diferentes especies de polifenoles, taninos, clorofilas.

3.7.4.2. Extracción con agua

Porciones de 0.4 g del residuo anterior se depositan en tubo de centrifuga y se extraen con 10 mL de agua destilada a 80°C durante 30 minutos en un baño termostático. Posteriormente se centrifugan a 4000 r.p.m. durante 45 minutos. El sobrenadante se separa del residuo por decantación. La extracción se repite dos veces más reuniendo todos los sobrenadantes. Se pesan los residuos (residuo A). De esta forma se extraen aquellas sustancias solubles en agua, tanto las proteínas, almidón y otros polisacáridos solubles.

3.7.4.3. Tratamiento de los extractos acuosos

Los extractos reunidos se tratan con 4 volúmenes de etanol absoluto y se centrifugan a 4000 r.p.m. durante media hora. Se descartan los sobrenadantes residuales que contienen las proteínas que no precipitan con el etanol y nos quedamos con el precipitado blanco que se obtiene el cual se seca y se pesa (Residuo A'). En este están contenidos tanto el almidón soluble como las gomas, mucílagos y sustancias pecticas que forman la fibra alimentaria soluble. Se redisuelve el extracto con 5 mL de agua caliente. Tras dejar que se enfríe a unos 40°C se le añaden 0.2 mL de tampón acetato 2M (pH = 4.5), 3 mL de una disolución de Takadiastasa (Fluka) al 5% (p/v) y unas gotas de tolueno. Se incuba la muestra a 37 °C durante 18 horas en un tubo de hidrólisis. Posteriormente se añaden 4 volúmenes de etanol absoluto y se centrifuga a 4000 r.p.m. durante media hora. Se separan los sobrenadantes y en ellos se miden los azúcares reductores. El almidón soluble vendrá expresado como glucosa.

El residuo de la digestión es tratado con 5 mL de ácido sulfúrico del 5 % (p/v) durante dos horas y media a 100 °C en un baño de agua hirviendo. Se obtiene un pequeño residuo debido a impurezas (Residuo B'). En el sobrenadante se encuentran las gomas, mucílagos y sustancias pépticas (GMP) hidrolizadas en forma de sus correspondientes monosacáridos (hexosas, pentosas y ácidos urónicos). Se determinan por la siguiente expresión:

$$\text{GMP} = \text{Residuo A}' - \text{Residuo B}' - \text{Almidón soluble}$$

(Ecuación No. 1)

3.7.4.4. Tratamiento del residuo insoluble en agua

A este residuo (Residuo A) se le añade agua caliente y se mantiene en un baño termostático a 100 °C durante 10 minutos. Tras enfriar, se le añaden 2 mL de tampón acetato 2M (pH = 4.5), 5 mL de Takadiastasa (Fluka) del 5 % (p/v), unas gotas del tolueno. La mezcla se incuba a 37 °C durante 18 horas en un tubo de hidrólisis. Se añaden cuatro volúmenes de etanol absoluto, se centrifugan a 4000 r.p.m. y se decantan los sobrenadantes. El residuo es lavado con unos 3 mL del etanol a 80% (V/V) por resuspensión y centrifugación a 4000 r.p.m. durante 15 minutos. Se repite el lavado dos veces y los sobrenadantes se reúnen y se llevan a un volumen conocido, midiéndose en ellos los azúcares reductores. El almidón insoluble viene expresado como glucosa.

3.7.4.5. Tratamiento del residuo tras digestión de Takadiastasa

Se añaden 10 mL de ácido sulfúrico del 5% (V/V) al residuo anterior y se calienta durante dos horas y media en un baño termostático a 100 °C. Tras dejar enfriar se añade un mismo volumen de etanol absoluto y se centrifuga a 4000 r.p.m. durante media hora. Se separan los sobrenadantes por decantación y el residuo se lava dos veces con etanol al 50% (V/V) por resuspensión y centrifuga a 4000 r.p.m. durante media hora. Los sobrenadantes reunidos contienen las hexosas, pentosas y ácido urónicos provenientes de los polisacáridos hidrolizados de la hemicelulosa.

3.7.4.6. Tratamiento del residuo tras hidrólisis ácida

El residuo se lava una vez con etanol absoluto y dos veces con éter etílico y se deja en el desecador durante unas doce horas. Posteriormente la muestra se pesa (Residuo B). Las hemicelulosas se calculan por la siguiente expresión:

$$\text{Hemicelulosas} = \text{Residuo A} - \text{Residuo B} - \text{Almidón insoluble}$$

(Ecuación No. 2)

Posteriormente, el residuo es tratado con 5 mL de ácido sulfúrico del 72 % (p/p) en frío. Se deja a 4 °C durante 24 horas agitando ocasionalmente para solubilizar la celulosa. Luego se añaden unos 50 mL de agua destilada y se filtra a través de una placa filtrante Büchner con dispositivo de vacío. Se lava dos veces con agua destilada. En los sobrenadantes están las hexosas provenientes de la hidrólisis de la celulosa.

3.7.4.7. Tratamiento del residuo tras hidrólisis al 72%

El residuo se lava una vez con etanol absoluto y tres veces con éter etílico. Se deja secar en el desecador unas horas y se pesa (Residuo C). La celulosa se calcula por la siguiente expresión:

$$\text{Celulosa} = \text{Residuo B} - \text{Residuo C}$$

(Ecuación No. 3)

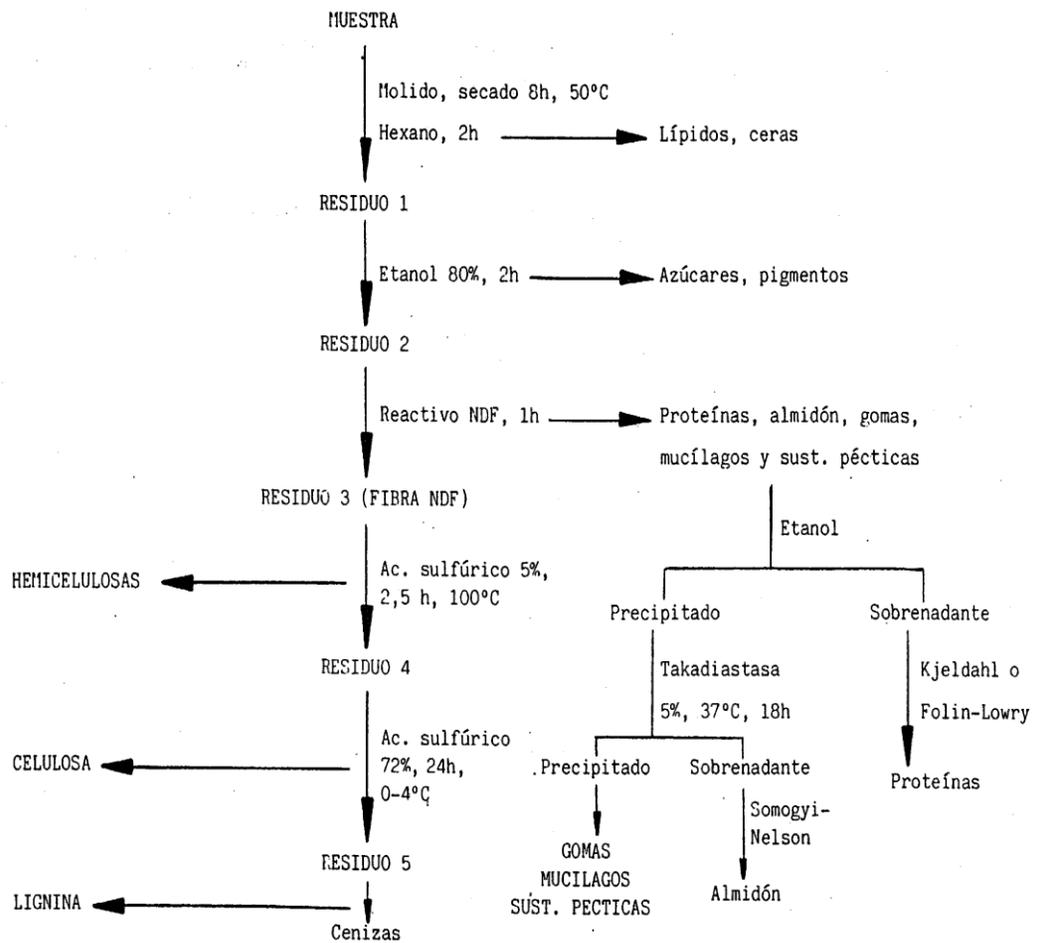
El residuo C contiene lignina y sustancias inorgánicas. Para su cuantificación esta se introduce en un crisol y se incinera a 525 °C durante tres horas. Tras dejar enfriar se pesa la ceniza (Residuo D). La lignina se calcula con la siguiente expresión:

Lignina = Residuo C- Residuo D

(Ecuación No. 4)

Las determinaciones se realizaron por triplicado.

Figura 23. Esquema del análisis de fibra alimentaria por el método de Southgate modificado



Fuente: Laboratorio de Aleopatía, Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias, Universidad de Cádiz, España.

3.7.5. Método de Kjeldahl para determinación de proteínas en muestras sólidas

El procedimiento consta de tres fases: digestión, destilación y valoración. En la primera, el nitrógeno orgánico de la muestra se transforma en catión amonio. La disolución se destila en medio básico, separándose el nitrógeno en forma de amoníaco gaseoso que se recoge sobre ácido sulfúrico. Finalmente se valora el ácido sulfúrico parcialmente neutralizado con una disolución de NaOH de concentración adecuada. Estas soluciones serán estandarizadas. La solución de NaOH se estandarizara con Ftalato Ácido de Potasio y usando fenolftaleína como indicador; luego con el valor real de la concentración de esta solución se determinara la concentración del ácido sulfúrico utilizando para ello indicador rojo de metilo.

3.7.5.1. Digestión

En el fondo de un matraz Kjeldahl de 100 mL se colocan de 0.1 a 0.2 g de muestra, entre 1 y 1.5 g de sulfato potásico, 0.1 g de sulfato de cobre (como catalizador) y 5 mL de ácido sulfúrico concentrado. La mezcla se calienta lentamente hasta carbonización total de la masa y desaparición de espumas, evitando la adherencia a las paredes de partículas orgánicas. Cuando la solución está transparente (de color verde por el catalizador de cobre) se deja durante una hora a ebullición.

3.7.5.2. Destilación

Tras dejar enfriar se añaden 25 mL de agua desionizada y se adicionan unos gránulos de zinc y gotas de fenolftaleína colocándose el matraz en un aparato de destilación microkjeldahl, se alcaliniza la solución añadiendo entre

15 y 20 mL de solución al 30 % de NaOH y se destila recogién dose entre 30 y 50 mL del destilado sobre un volumen conocido de solución 0.1 N de ácido sulfúrico que contienen unas gotas de indicador rojo de metilo, el cual ha sido previamente estandarizado con la solución de NaOH 0.1 N, la cual a su vez fue estandarizada con Ftalato Ácido de Potasio.

3.7.5.3. Valoración

La solución resultante de recoger el destilado se valora con NaOH 0.1 N hasta el punto de equivalencia del indicador rojo de metilo. Para el cálculo del porcentaje en proteínas contenidas en la muestra analizada se aplica la siguiente expresión:

$$\% \text{proteinas} = \frac{1.4 \times 6.25}{m} (N_a V_a - N_b V_b)$$

(Ecuación No. 5)

Donde m es la masa en gramos de la muestra tratada, N_a y V_a son respectivamente la normalidad y el volumen en mL de la solución de ácido sulfúrico neutralizada y N_b y V_b son la normalidad y el volumen de la disolución de sosa empleada en la valoración. La constante 6.25 es el factor de conversión de nitrógeno orgánico a proteínas.

3.7.6. Determinación de azúcares totales por el método del fenol – sulfúrico

3.7.6.1. Preparación de reactivos

Reactivo A: disolución de fenol al 5% (p/v) en agua destilada.

Reactivo B: ácido sulfúrico concentrado (d= 1.84 g/mL, 95-98%).

3.7.6.2. Procedimiento

Los azúcares producen cromóforos en presencia de fenol en medio ácido concentrado, con un máximo de absorción a 490 nm. El procedimiento que se sigue es el siguiente:

En un tubo de ensayo se mezclan 0.5 mL de muestra con 1 mL de reactivo A. posteriormente se añaden 2.5 mL de reactivo B directamente sobre la superficie de la disolución. Se producirá un gran desprendimiento de color, se deja que se alcance temperatura ambiente en unos 5 minutos y se lleva a cabo su lectura en el espectrofotómetro.

3.7.6.3. Calibrado

Se preparan muestras de glucosa de concentración 400, 200, 100, 50, 25 y 12.5 mg/L, se lleva a cabo el procedimiento anteriormente descrito, los valores de absorbancia, medidos a 490 nm.

Los valores de la absorbancia son la media de dos medidas por cada concentración de glucosa.

Tabla XII. **Absorbancia de las disoluciones patrones de glucosa para azúcares totales por el método del fenol – sulfúrico**

Concentración Glucosa (mg/L)	Absorbancia a 490 nm
300	1.7498
200	1.2067
100	0.6546
50	0.2815
20	0.1368
10	0.0425

Fuente: Laboratorio de Alelopatía, Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias, Universidad de Cádiz, España.

Una vez ajustados estos datos por mínimos cuadrados se obtiene la siguiente ecuación:

$$A = 0.0059 C + 0.0126$$

(Ecuación No. 6)

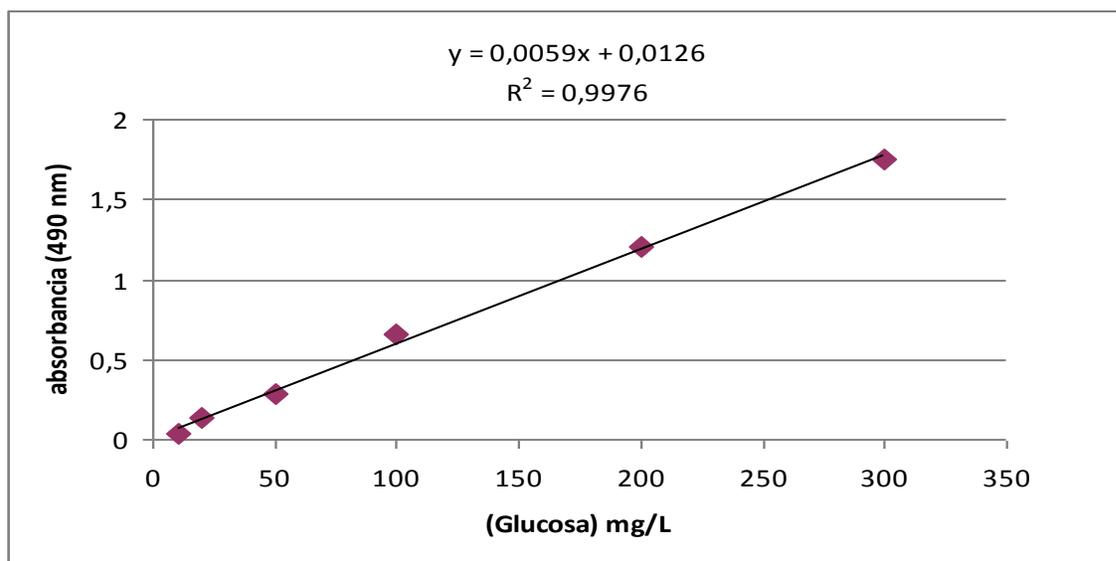
El coeficiente de correlación de esta recta es:

$$R^2 = 0.9976$$

(Ecuación No. 7)

Donde A es la absorbancia medida a 490 nm y C es la concentración de glucosa en mg/L.

Figura 24. Recta de calibrado para azúcares totales



Fuente: Laboratorio de Alelopatía, Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias, Universidad de Cádiz, España.

3.7.7. Determinación de azúcares reductores por el método de Somogyi – Nelson

3.7.7.1. Preparación de los reactivos

Para la valoración colorimétrica de azúcares reductores es necesario preparar los reactivos de Somogyi y Nelson, de la siguiente manera:

Un litro de reactivo de Somogyi contiene 4g de sulfato cúprico pentahidratado, 24g de carbonato sódico, 16g de bicarbonato sódico, 12g de tartrato sódico potásico y 180g de sulfato sódico decahidratado. El carbonato sódico y el tartrato sódico potásico se disuelven en 250 mL de agua y sobre ellos se añade lentamente el sulfato de cobre previamente disuelto en 50 mL de agua. Una vez efectuada la mezcla, se agrega el bicarbonato.

El sulfato sódico se disuelve en 500 mL de agua caliente y se lleva a ebullición a fin de expulsar el aire. Una vez frío, se mezcla con la solución anterior y se completa el volumen hasta un litro.

Durante los primeros días sedimenta una pequeña cantidad de óxido cuproso y algunas impurezas. Transcurrido este tiempo la solución se filtra, obteniéndose un líquido transparente que se guarda en un frasco de color topacio.

Un litro de reactivo de Nelson contiene 50 g de molibdato amónico, 42 g de ácido sulfúrico concentrado y 6 g de arseniato disódico heptahidratado. Se disuelve el molibdato amónico en 900 mL de agua y se añade el ácido sulfúrico, con agitación constante. El arseniato disódico se disuelve en 50 mL de agua y se mezclan ambas disoluciones, completando el volumen hasta un litro

exactamente. Se conserva en frasco tapado durante 48 horas a 37°C; desde ese momento, el reactivo puede ser utilizado.

3.7.7.2. Procedimiento

Para la determinación de azúcares reductores seguimos el método de reducción incompleta. Consiste en determinar la cantidad de óxido cuproso formada a partir del reactivo cúprico alcalino que hemos añadido en exceso a la disolución de azúcar cuya concentración deseamos conocer. Como el óxido cuproso se re-oxida con el aire, se satura la disolución con sulfato sódico con lo que se inhibe casi totalmente dicho proceso.

Se toma 1 mL de la disolución de azúcar y se le añade 1 mL de reactivo de Somogyi en un tubo de ensayo. Se introduce en agua hirviendo, donde permanece durante 10 minutos y luego en agua fría, donde se mantiene 5 minutos. Posteriormente se añade 1 mL del reactivo de Nelson y se agita hasta que cese el desprendimiento de gases (CO₂).

El color así desarrollado es, normalmente demasiado intenso para ser medido directamente en el espectrofotómetro, por lo que debe diluirse con 10 mL de agua destilada. El color es estable y permanece durante dos horas.

El último paso es la medida de la absorbancia a 610 nm en el espectrofotómetro. El dato obtenido se correlaciona con la concentración de azúcar a través de la recta de calibrado.

3.7.7.3. Calibrado

Para construir la recta de calibrado, se preparan disoluciones de glucosa de concentración 12.5, 25, 50, 100, 200 y 400 $\mu\text{g/mL}$, respectivamente. Una vez añadidos los reactivos y desarrollado el color se diluye en todos los casos con 13 mL de agua destilada y se determina su absorción a 610 nm.

Esta nos proporciona una recta de calibrado, que ajustada por mínimos cuadrados, responde a la ecuación:

$$A = 0.0029 C - 0.0469$$

(Ecuación No. 8)

Donde C es la concentración de la disolución de azúcar en $\mu\text{g/mL}$. El coeficiente de correlación de esta recta es:

$$R^2 = 0.9784$$

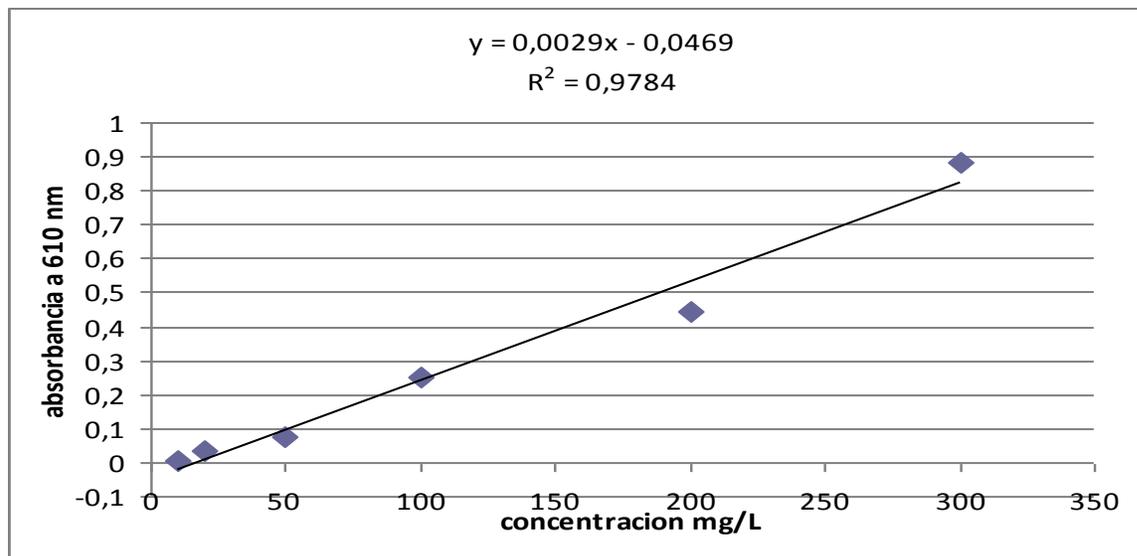
(Ecuación No. 9)

Tabla XIII. **Absorbancia de las disoluciones patrones de glucosa para azúcares reductores por el método de Somogyi – Nelson**

Concentración Glucosa ($\mu\text{g/mL}$)	Absorbancia a 610 nm
300	0.8806
200	0.4468
100	0.2513
50	0.0764
20	0.0344
10	0.0029

Fuente: Laboratorio de Alelopatía, Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias, Universidad de Cádiz, España.

Figura 25. **Recta de calibrado para azúcares reductores**



Fuente: Laboratorio de Alelopatía, Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias, Universidad de Cádiz, España.

3.7.8. Determinación de azúcares como acetatos de alditol

Poner entre 5 -10 mg, de muestra en el fondo de un tubo de hidrólisis, añadir 3 mL de una solución 2 M de ácido trifluoroacético, poner en atmósfera inerte e hidrolizar a 121 °C durante 3 h.

Enfriar, añadir 50 µL de solución de myo-inositol (10 mg/mL), como patrón interno y llevar a sequedad en corriente de aire.

Añadir 1 mL de solución 0.5 M de NaBH₄ en amoníaco 2 M y reducir los monosacáridos durante 1 h a 60 °C, transcurrido este tiempo se añaden 0.5 mL de acetona para destruir el exceso de borohidruro y se lleva a sequedad en corriente de aire.

El residuo de la etapa anterior se re-disuelve en 200 µL de ácido acético glacial. Se añade 1 mL de acetato de etilo, 3 mL de anhídrido acético y 100 µL de ácido perclórico, se tapa en tubo, se agita y se deja estar 5 minutos, transcurridos los cuales se enfría en hielo y se añaden 10 mL de agua destilada y 200 µL de 1-metilimidazol. La mezcla se calentará al destruirse el exceso de anhídrido acético, esperar a que se vuelva a enfriar (al menos 10 minutos), y extraer los acetatos de alditol con 1 mL de diclorometano.

Los acetatos de alditol se transfieren a un vial de 2 mL con tapón de rosca y se llevan a sequedad en corriente de aire. Al momento de analizar se redisuelve con 200 µL de hexano justo antes de inyectar en el cromatógrafo de gases (GC) y espectro de masas (MS). Se conservan en el congelador hasta su análisis.

3.7.9. Evaluación sensorial de la galleta en base a la escala hedónica

La evaluación sensorial se realizara por una estudio de campo, donde degustarán la galleta y la evaluaran por esta escala sensorial.

Ficha para la evaluación descriptiva de la harina de trigo enriquecida con Paraíso Blanco (*Moringa Oleifera*)

Prueba de escala hedónica de nueve puntos

Nombre: _____

Fecha: _____

Instrucciones: Por favor, pruebe las muestras en el orden indicado de izquierda a derecha y ubique en la escala deseada con una X.

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

3.7.10. Diseño de una línea de producción para la elaboración de la galleta a partir de la harina de trigo enriquecida

EL diseño de la línea de producción para la galleta se realizó utilizando un software de computador, con el que se dimensiono la maquinaria y equipo básico necesario para una producción establecida. Basados en variables de diseño conceptual y básico.

3.7.11. Tabla de tabulación de datos

Tabla XIV. **Determinación y cuantificación de las clases de lípidos**

Nombre del lípido	Muestra				
	1	2	3	4	5
Lípido 1	$m_{L1,1}$	$m_{L1,2}$	$m_{L1,3}$	$m_{L1,4}$	$m_{L1,5}$
Lípido 2	$m_{L2,1}$	$m_{L2,2}$	$m_{L2,3}$	$m_{L2,4}$	$m_{L2,5}$
Lípido 3	$m_{L3,1}$	$m_{L3,2}$	$m_{L3,3}$	$m_{L3,4}$	$m_{L3,5}$
Lípido 4	$m_{L4,1}$	$m_{L4,2}$	$m_{L4,3}$	$m_{L4,4}$	$m_{L4,5}$
Lípido 5	$m_{L5,1}$	$m_{L5,2}$	$m_{L5,3}$	$m_{L5,4}$	$m_{L5,5}$
Lípido 6	$m_{L6,1}$	$m_{L6,2}$	$m_{L6,3}$	$m_{L6,4}$	$m_{L6,5}$

Fuente: Laboratorio de Alelopatía, Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias, Universidad de Cádiz, España.

Tabla XV. **Determinación y cuantificación de los ácidos grasos**

Nombre del ácido graso	Muestra				
	1	2	3	4	5
Ácido graso 1	$\%_{AG1,1}$	$\%_{AG1,2}$	$\%_{AG1,3}$	$\%_{AG1,4}$	$\%_{AG1,5}$
Ácido graso 2	$\%_{AG2,1}$	$\%_{AG2,2}$	$\%_{AG2,3}$	$\%_{AG2,4}$	$\%_{AG2,5}$
Ácido graso 3	$\%_{AG3,1}$	$\%_{AG3,2}$	$\%_{AG3,3}$	$\%_{AG3,4}$	$\%_{AG3,5}$
Ácido graso 4	$\%_{AG4,1}$	$\%_{AG4,2}$	$\%_{AG4,3}$	$\%_{AG4,4}$	$\%_{AG4,5}$
Ácido graso 5	$\%_{AG5,1}$	$\%_{AG5,2}$	$\%_{AG5,3}$	$\%_{AG5,4}$	$\%_{AG5,5}$
Ácido graso 6	$\%_{AG6,1}$	$\%_{AG6,2}$	$\%_{AG6,3}$	$\%_{AG6,4}$	$\%_{AG6,5}$

Fuente: Laboratorio de Alelopatía, Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias, Universidad de Cádiz, España.

Tabla XVI. **Determinación y cuantificación de azúcares**

Nombre del azúcar	Muestra				
	1	2	3	4	5
Azúcar 1	$m_{A1,1}$	$m_{A1,2}$	$m_{A1,3}$	$m_{A1,4}$	$m_{A1,5}$
Azúcar 2	$m_{A2,1}$	$m_{A2,2}$	$m_{A2,3}$	$m_{A2,4}$	$m_{A2,5}$
Azúcar 3	$m_{A3,1}$	$m_{A3,2}$	$m_{A3,3}$	$m_{A3,4}$	$m_{A3,5}$
Azúcar 4	$m_{A4,1}$	$m_{A4,2}$	$m_{A4,3}$	$m_{A4,4}$	$m_{A4,5}$
Azúcar 5	$m_{A5,1}$	$m_{A5,2}$	$m_{A5,3}$	$m_{A5,4}$	$m_{A5,5}$
Azúcar 6	$m_{A6,1}$	$m_{A6,2}$	$m_{A6,3}$	$m_{A6,4}$	$m_{A6,5}$

Fuente: Laboratorio de Alelopatía, Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias, Universidad de Cádiz, España.

Tabla XVII. **Determinación y cuantificación de la fibra alimentaria**

Descripción	Muestra				
	1	2	3	4	5
Celulosa	m_{C1}	m_{C2}	m_{C3}	m_{C4}	m_{C5}
Hemicelulosa	m_{H1}	m_{H2}	m_{H3}	m_{H4}	m_{H5}
Sustancias pécticas	m_{SP1}	m_{SP2}	m_{SP3}	m_{SP4}	m_{SP5}
Almidón resistente	m_{R1}	m_{R2}	m_{R3}	m_{R4}	m_{R5}
Compuestos no carbohidratados	m_{CNC1}	m_{CNC2}	m_{CNC3}	m_{CNC4}	m_{CNC5}
Gomas	m_{G1}	m_{G2}	m_{G3}	m_{G4}	m_{G5}
Mucilagos	m_{M1}	m_{M2}	m_{M3}	m_{M4}	m_{M5}
Otros Compuestos	m_{OC1}	m_{OC2}	m_{OC3}	m_{OC4}	m_{OC5}

Fuente: Laboratorio de Alelopatía, Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias, Universidad de Cádiz, España.

Tabla XVIII. **Determinación y cuantificación de las proteínas**

Descripción	Muestra				
	1	2	3	4	5
Proteína 1	% _{P1,1}	% _{P1,2}	% _{P1,3}	% _{P1,4}	% _{P1,5}
Proteína 2	% _{P2,1}	% _{P2,2}	% _{P2,3}	% _{P2,4}	% _{P2,5}
Proteína 3	% _{P3,1}	% _{P3,2}	% _{P3,3}	% _{P3,4}	% _{P3,5}
Proteína 4	% _{P4,1}	% _{P4,2}	% _{P4,3}	% _{P4,4}	% _{P4,5}
Proteína 5	% _{P5,1}	% _{P5,2}	% _{P5,3}	% _{P5,4}	% _{P5,5}
Proteína 6	% _{P6,1}	% _{P6,2}	% _{P6,3}	% _{P6,4}	% _{P6,5}

Fuente: Laboratorio de Alelopatía, Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias, Universidad de Cádiz, España.

3.8. Análisis estadístico

Para el análisis nutricional de la harina de trigo enriquecida con Paraíso Blanco (*Moringa oleifera*) se utilizó como variable la propia harina. Para esto se realizaron 8 observaciones con lo que obtuvieron 5 productos distintos. Posteriormente a los 5 productos se les realizó pruebas para conocer sus propiedades nutricionales así como análisis sensoriales para conocer sus propiedades organolépticas.

El análisis estadístico de los datos obtenidos para la harina de trigo enriquecida con Paraíso Blanco (*Moringa oleifera*), se llevó a cabo por medio de un análisis de varianza por medio de un diseño de bloques aleatorio. Los datos se arreglaron como sigue:

Tabla XIX. Datos típicos para el diseño de bloques al azar

Tratamientos	Bloques					Promedio
	1	2	3	4	5	
1	$Y_{1,1}$	$Y_{1,2}$	$Y_{1,3}$	$Y_{1,4}$	$Y_{1,5}$	$Y_1 \text{ Prom}$
2	$Y_{2,1}$	$Y_{2,2}$	$Y_{2,3}$	$Y_{2,4}$	$Y_{2,5}$	$Y_2 \text{ Prom}$
3	$Y_{3,1}$	$Y_{3,2}$	$Y_{3,3}$	$Y_{3,4}$	$Y_{3,5}$	$Y_3 \text{ Prom}$
4	$Y_{4,1}$	$Y_{4,2}$	$Y_{4,3}$	$Y_{4,4}$	$Y_{4,5}$	$Y_4 \text{ Prom}$
5	$Y_{5,1}$	$Y_{5,2}$	$Y_{5,3}$	$Y_{5,4}$	$Y_{5,5}$	$Y_5 \text{ Prom}$
6	$Y_{6,1}$	$Y_{6,2}$	$Y_{6,3}$	$Y_{6,4}$	$Y_{6,5}$	$Y_6 \text{ Prom}$
7	$Y_{7,1}$	$Y_{7,2}$	$Y_{7,3}$	$Y_{7,4}$	$Y_{7,5}$	$Y_7 \text{ Prom}$
8	$Y_{8,1}$	$Y_{8,2}$	$Y_{8,3}$	$Y_{8,4}$	$Y_{8,5}$	$Y_8 \text{ Prom}$
Promedio	$Y_1 \text{ Prom}$	$Y_2 \text{ Prom}$	$Y_3 \text{ Prom}$	$Y_4 \text{ Prom}$	$Y_5 \text{ Prom}$	Y

Fuente: Laboratorio de Alelopatía, Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias, Universidad de Cádiz, España.

Donde:

$Y_{i,j}$ = Total de las observaciones bajo el i, j –
ésimo tratamientos

Y = Promedio total de las observaciones bajo el
 i, j – ésimo tratamiento

$Y_{a,b}$ = Datos obtenidos para cada observación
bajo cada tratamiento

Generalmente el procedimiento para un diseño de bloque aleatorio consiste en seleccionar b bloques y en ejecutar una repetición completa del experimento en cada bloque, con un solo factor con a niveles. Las observaciones pueden representarse por medio de un modelo estadístico lineal.

$$i = 1, 2, \dots, a$$

$$Y_{i,j} = \mu + \tau_i + \beta_j + \varepsilon_{i,j}$$

$$j = 1, 2, \dots, b$$

Donde:

- $Y_{i,j}$ = Observación
- μ = Media general
- τ_i = Efecto del tratamiento i – ésimo
- β_j = Efecto del bloque j – ésimo
- $\varepsilon_{i,j}$ = Error aleatorio

Los efectos de bloque y tratamiento se definen como desviaciones respecto a la media general. Como el interés es probar la igualdad de los efectos del tratamiento, siendo

$$H_0: \tau_1 = \tau_2 = \dots = \tau_a = 0$$

$$H_1: \tau_i \neq 0 \text{ al menos una } i$$

Las pruebas de hipótesis para la comparación de la media de los resultados de cada tratamiento respecto a las propiedades nutricionales de la harina de trigo se realizó utilizando: “Prueba de hipótesis para la media de una población”.

La ecuación a utilizar con desviación poblacional desconocida es la siguiente:

$$t = \frac{x - \mu}{s / \sqrt{n}}$$

(Ecuación No. 10)

Donde:

t = Valor t student

x = Media muestral

μ = Media poblacional

S = Desviación muestral

n = Número de muestras

El valor obtenido de la ecuación anterior es comparado con el valor en la tabla de t de student con un grado de confiabilidad del 95%. Si el valor absoluto de la ecuación es menor que el valor de la tabla de t de student se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna.

3.9. Plan de análisis de los resultados

3.9.1. Presentación técnica

Es la presentación de los datos obtenidos a nivel laboratorio así como los análisis sensoriales realizados a la galleta producida y la línea de producción diseñada a través de un software de computador.

3.9.2. Métodos y modelos de los datos según tipo de variables

- Método de cromatografía

Dato de lectura digital = Compuestos en la muestra

3.9.3. Programas utilizados para análisis de datos

- Microsoft Excel 2007

Hoja de cálculo electrónica utilizada para automatizar diversas operaciones matemáticas y hacer bosquejo de gráficos para cumplir algunos objetivos de la investigación.

- Microsoft Visio 2010

Software que facilito la elaboración de diagramas de flujo así como la esquematización del diagrama de equipo del proceso en general.

4. RESULTADOS

4.1. Cuantificación de la clase de lípidos

Tabla XX. Cuantificación de los lípidos presentes en las distintas muestras

	Masa de los lípidos presentes en la muestra (mg)	Abundancia relativa (%)
Harina de trigo	3.91	1.22
Polvo de la hoja de <i>Moringa oleifera</i>	12.00	2.30

Fuente: Sanchinelli Pezzarossi, Karol Beatriz. "Contenido de proteína y aminoácidos, y generación de descriptores sensoriales de los tallos, hojas y flores de *Moringa oleifera* Lamark (Moringaceae) cultivada en Guatemala". Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, 2004. Pág. 61.

4.2. Determinación de los ácidos grasos

Tabla XXI. Determinación y cuantificación de ácidos grasos contenidos en la harina de trigo

Ácido graso		Masa presente en la muestra (mg)	Abundancia relativa (%)	Porcentaje en masa en la muestra (%)
C16:0	Palmitato de metilo	0.5585	20.67	13.96
C18:0	Estearato de metilo	0.0609	2.25	1.52
C18:1n9c	Oleato de metilo	0.3362	12.44	8.40
C18:2n6c	Linoleato de metilo	1.5784	58.42	39.46
C18:3n3	Linolenato de metilo	0.1127	4.17	2.82
C20:0	Araquidato de metilo	0.0149	0.55	0.37
C20:1	cis-11-eicosenoato de metilo	0.0305	1.13	0.76
C22:0	Behenato de metilo	0.0097	0.36	0.24
Total		2.7018	100.00	

Fuente: Laboratorio de Alelopatía, Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias, Universidad de Cádiz, España.

Tabla XXII. **Determinación y cuantificación de ácidos grasos contenidos en la mezcla 2**

Ácido graso		Masa presente en la muestra (mg)	Abundancia relativa (%)	Porcentaje en masa en la muestra (%)
C14:0	Miristato de metilo	0.0172	2.29	0.35
C16:0	Palmitato de metilo	0.1867	24.80	3.84
C16:1	Palmitoleato de metilo	0.0058	0.78	0.12
C18:0	Estearato de metilo	0.0046	0.61	0.09
C18:1n9c	Oleato de metilo	0.1022	13.81	2.12
C18:2n6c	Linoleato de metilo	0.2832	37.54	5.82
C18:3n3	Linolenato de metilo	0.1379	18.28	2.84
C20:0	Araquidato de metilo	0.0057	0.77	0.12
C22:0	Behenato de metilo	0.0084	1.12	0.17
C24:0	Lignocerato de metilo	0.0000	0.00	0.00
Total		0.7517	100.00	

Fuente: Laboratorio de Alelopatía, Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias, Universidad de Cádiz, España.

Tabla XXIII. **Determinación y cuantificación de ácidos grasos contenidos en la mezcla 3**

Ácido graso		Masa presente en la muestra (mg)	Abundancia relativa (%)	Porcentaje en masa en la muestra (%)
C12:0	Laurato de metilo	0.0037	0.60	0.06
C14:0	Miristato de metilo	0.0195	3.15	0.33
C16:0	Palmitato de metilo	0.1635	26.46	2.77
C16:1	Palmitoleato de metilo	0.0172	2.77	0.29
C18:0	Estearato de metilo	0.0207	3.35	0.35
C18:1n9c	Oleato de metilo	0.0520	8.41	0.88
C18:2n6c	Linoleato de metilo	0.1694	27.42	2.87
C18:3n3	Linolenato de metilo	0.1498	24.29	2.54
C20:0	Araquidato de metilo	0.0072	1.18	0.12
C22:0	Behenato de metilo	0.0145	2.36	0.25
C24:0	Lignocerato de metilo	0.0000	0.00	0.00
Total		0.6175	100.00	

Fuente: Laboratorio de Alelopatía, Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias, Universidad de Cádiz, España.

Tabla XXIV. Determinación y cuantificación de ácidos grasos contenidos en la mezcla 4

Ácido graso		Masa presente en la muestra (mg)	Abundancia relativa (%)	Porcentaje en masa en la muestra (%)
C12:0	Laurato de metilo	0.0076	1.50	0.15
C14:0	Miristato de metilo	0.0208	4.07	0.41
C16:0	Palmitato de metilo	0.1350	26.56	2.68
C16:1	Palmitoleato de metilo	0.0173	3.37	0.34
C18:0	Estearato de metilo	0.0179	3.49	0.35
C18:1n9c	Oleato de metilo	0.0393	7.69	0.78
C18:2n6c	Linoleato de metilo	0.0988	19.34	1.95
C18:3n3	Linolenato de metilo	0.1538	30.01	3.03
C20:0	Araquidato de metilo	0.0039	0.76	0.08
C22:0	Behenato de metilo	0.0164	3.21	0.32
C24:0	Lignocerato de metilo	0.0000	0.00	0.00
Total		0.5107	100.00	

Tabla XXV. **Determinación y cuantificación de ácidos grasos contenidos en el polvo de *Moringa oleifera***

Ácido graso		Masa presente en la muestra (mg)	Abundancia relativa (%)	Porcentaje en masa en la muestra (%)
C12:0	Laurato de metilo	0.0132	0.60	0.09
C14:0	Miristato de metilo	0.1217	5.51	0.81
C16:0	Palmitato de metilo	0.6881	31.15	4.56
C18:0	Estearato de metilo	0.1039	4.70	0.69
C18:1n9c	Oleato de metilo	0.1384	6.27	0.92
C18:2n6c	Linoleato de metilo	0.2326	10.53	1.54
C18:3n3	Linolenato de metilo	0.8359	37.85	5.54
C20:1	cis-11-eicosenoato de metilo	0.0365	1.65	0.24
C22:0	Behenato de metilo	0.0384	1.74	0.25
C24:0	Lignocerato de metilo	0.0000	0.00	0.00
Total		2.2088	100.00	

Fuente: Laboratorio de Aleopatía, Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias, Universidad de Cádiz, España.

4.3. Determinación de la fibra alimentaria

Tabla XXVI. **Porcentajes de la composición de la fibra alimentaria en las distintas mezclas analizadas**

	Almidón soluble (%)	Almidón insoluble (%)	GMP (%)	Hemicelulosa (%)	Celulosa (%)	Lignina (%)
Harina de trigo	0.002	0.008	4.15	13.70	55.67	6.10
Mezcla 2	0.001	0.008	16.32	22.65	43.82	6.23
Mezcla 3	0.002	0.006	9.67	22.56	35.33	10.79
Mezcla 4	0.002	0.006	7.28	27.13	26.23	13.15
Polvo de la hoja de <i>Moringa Oleifera</i>	0.001	0.007	9.97	22.33	32.14	10.36

Fuente: Laboratorio de Aleopatía, Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias, Universidad de Cádiz, España.

GMP = Gomas, mucílagos y sustancias pécticas.

4.4. Determinación de proteínas

Tabla XXVII. Cuantificación de las proteínas presentes en las mezclas

	Abundancia relativa (%)	Masa de las proteínas presentes (mg)
Harina de trigo	9.37	19.25
Mezcla 2	13.26	27.27
Mezcla 3	16.13	33.07
Mezcla 4	19.06	39.31
Polvo de la hoja de <i>Moringa oleifera</i>	21.65	45.33

Fuente: Laboratorio de Alelopatía, Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias, Universidad de Cádiz, España.

4.5. Determinación de los azúcares totales

Tabla XXVIII. **Contenido de azúcares totales en las distintas mezclas**

	Azúcares totales (mg/L)
Harina de trigo	607.77
Mezcla 2	456.79
Mezcla 3	496.40
Mezcla 4	583.22
Polvo de la hoja de <i>Moringa oleifera</i>	620.63

Fuente: Laboratorio de Aleopatía, Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias, Universidad de Cádiz, España.

4.6. Determinación de los azúcares reductores

Tabla XXIX. **Contenido de azúcares reductores en las distintas mezclas**

	Azúcares reductores (mg/L)
Harina de trigo	188.75
Mezcla 2	151.40
Mezcla 3	134.85
Mezcla 4	98.55
Polvo de la hoja de <i>Moringa oleifera</i>	113.25

Fuente: **Laboratorio de Aleopatía, Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias, Universidad de Cádiz, España.**

4.7. Clasificación y cuantificación de la clase de azúcares

Tabla XXX. Determinación y cuantificación de azúcares contenidos en la harina de trigo

No.	Azúcar	Masa presente en la muestra (mg)	Abundancia relativa (%)	Porcentaje en masa en la muestra (%)
1	Arabinosa	0.0621	1.48	0.63
2	Xilosa	0.0942	2.24	0.96
3	Manosa	0.3018	7.19	3.06
4	Glucosa	3.7377	89.08	37.95
Total		4.1957	100.00	

Fuente: Laboratorio de Alelopatía, Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias, Universidad de Cádiz, España.

Tabla XXXI. **Determinación y cuantificación de azúcares contenidos en la mezcla 2**

No.	Azúcar	Masa presente en la muestra (mg)	Abundancia relativa (%)	Porcentaje en masa en la muestra (%)
1	Ramnosa	0.0451	1.17	0.35
2	Arabinosa	0.0864	2.24	0.68
3	Xilosa	0.0937	2.43	0.73
4	Manosa	0.2487	6.45	1.94
5	Glucosa	3.3095	85.81	25.86
6	Galactosa	0.0732	1.90	0.57
Total		3.86	100.00	

Fuente: Laboratorio de Alelopatía, Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias, Universidad de Cádiz, España.

Tabla XXXII. **Determinación y cuantificación de azúcares contenidos en la mezcla 3**

No.	Azúcar	Masa presente en la muestra (mg)	Abundancia relativa (%)	Porcentaje en masa en la muestra (%)
1	Ramnosa	0.0876	2.21	0.86
2	Arabinosa	0.1288	3.26	1.27
3	Xilosa	0.1132	2.86	1.12
4	Manosa	0.4172	10.55	4.11
5	Glucosa	3.0703	77.62	30.25
6	Galactosa	0.1383	3.50	1.36
Total		3.96	100.00	

Fuente: Laboratorio de Alelopatía, Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias, Universidad de Cádiz, España.

Tabla XXXIII. **Determinación y cuantificación de azúcares contenidos en la mezcla 4**

No.	Azúcar	Masa presente en la muestra (mg)	Abundancia relativa (%)	Porcentaje en masa en la muestra (%)
1	Ramnosa	0.1506	3.88	1.43
2	Arabinosa	0.1813	4.67	1.72
3	Xilosa	0.1365	3.51	1.29
4	Manosa	0.5129	13.20	4.86
5	Glucosa	2.6563	68.38	25.18
6	Galactosa	0.2473	6.36	2.34
Total		3.88	100.00	

Fuente: Laboratorio de Alelopatía, Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias, Universidad de Cádiz, España.

Tabla XXXIV. Determinación y cuantificación de azúcares contenidos en el polvo de *Moringa oleifera*

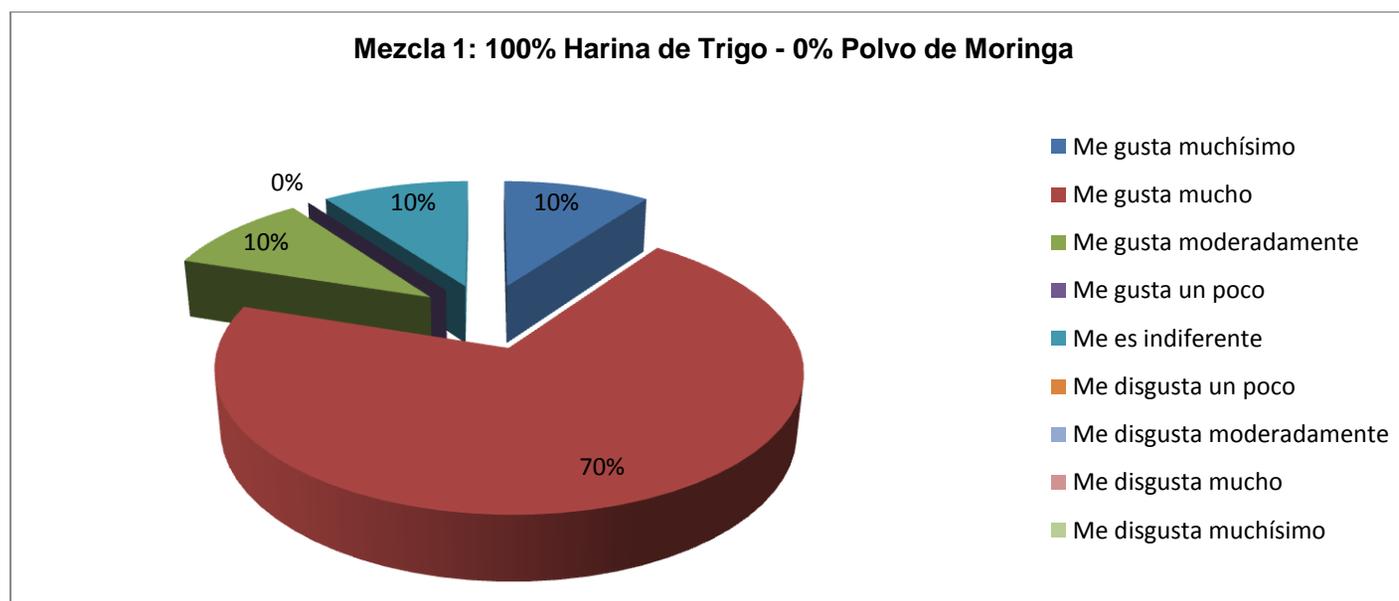
No.	Azúcar	Masa presente en la muestra (mg)	Abundancia relativa (%)	Porcentaje en masa en la muestra (%)
1	Ramnosa	0.1092	10.99	1.03
2	Arabinosa	0.1091	10.98	1.03
3	Xilosa	0.1234	12.41	1.17
4	Manosa	0.2717	27.34	2.58
5	Glucosa	0.2650	26.67	2.51
6	Galactosa	0.1155	11.62	1.09
Total		0.99	100.00	

171

Fuente: Laboratorio de Alelopatía, Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias, Universidad de Cádiz, España.

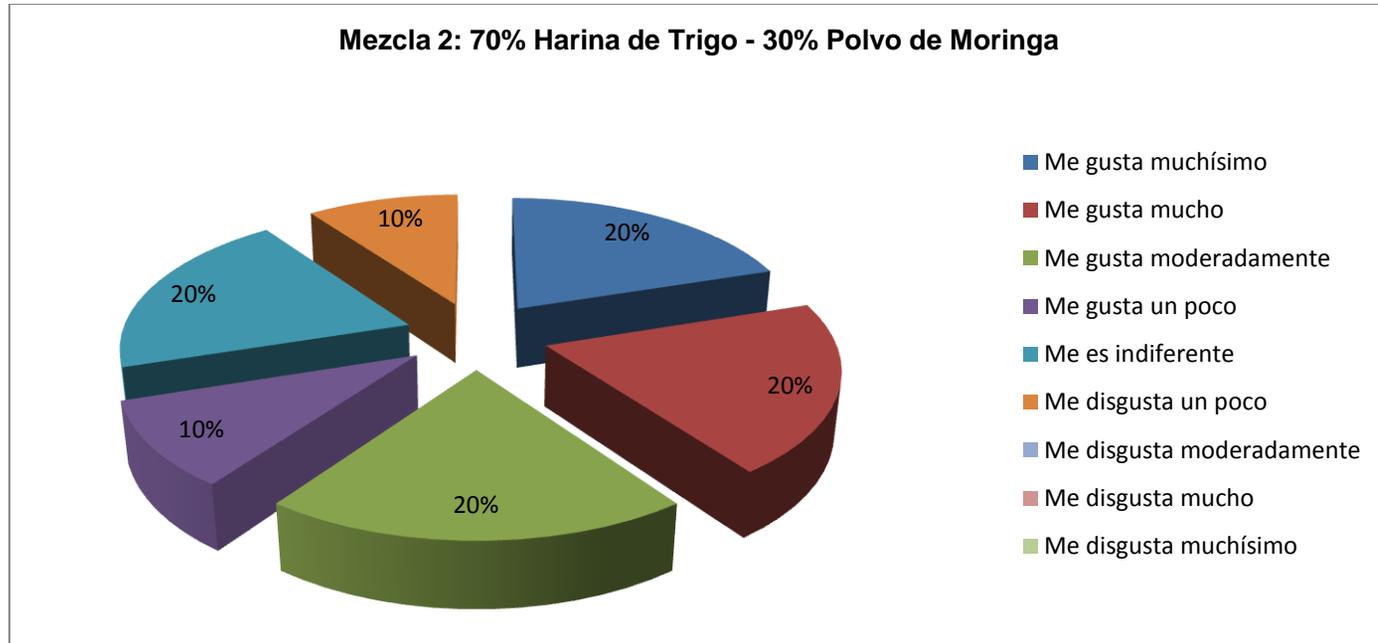
4.8. Determinación de la evaluación descriptiva

Figura 26. Evaluación descriptiva de la harina de trigo en forma de galleta



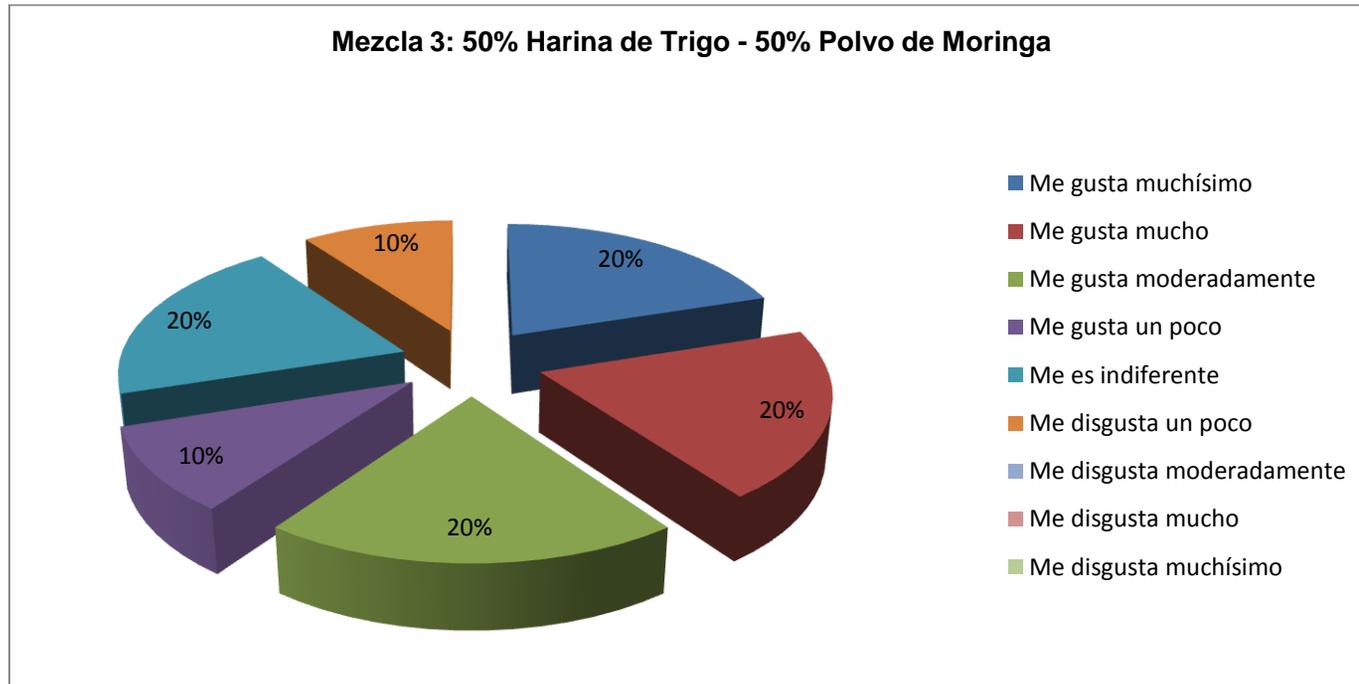
Fuente: Laboratorio de Alelopatía, Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias, Universidad de Cádiz, España.

Figura 27. Evaluación descriptiva de la mezcla 2 en forma de galleta



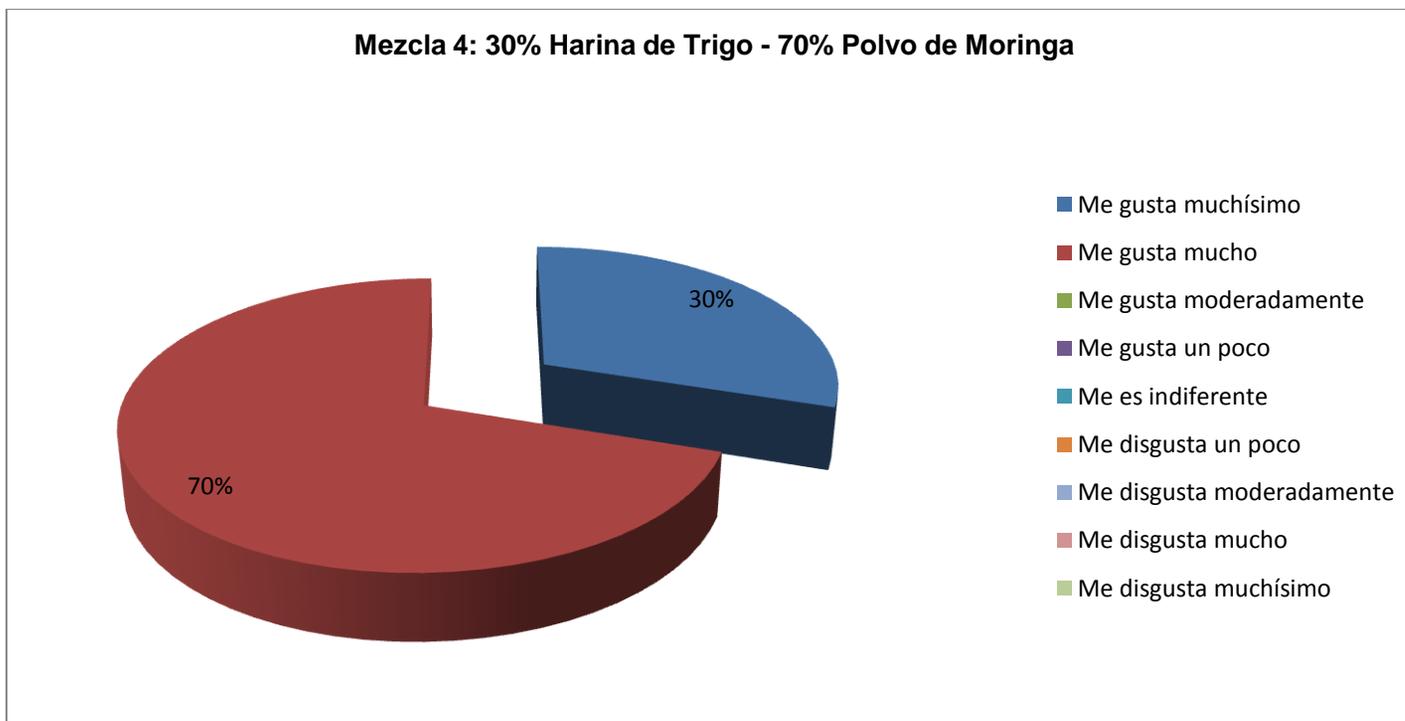
Fuente: Laboratorio de Alelopatía, Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias, Universidad de Cádiz, España.

Figura 28. Evaluación descriptiva de la mezcla 3 en forma de galleta



Fuente: Laboratorio de Aleopatía, Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias, Universidad de Cádiz, España.

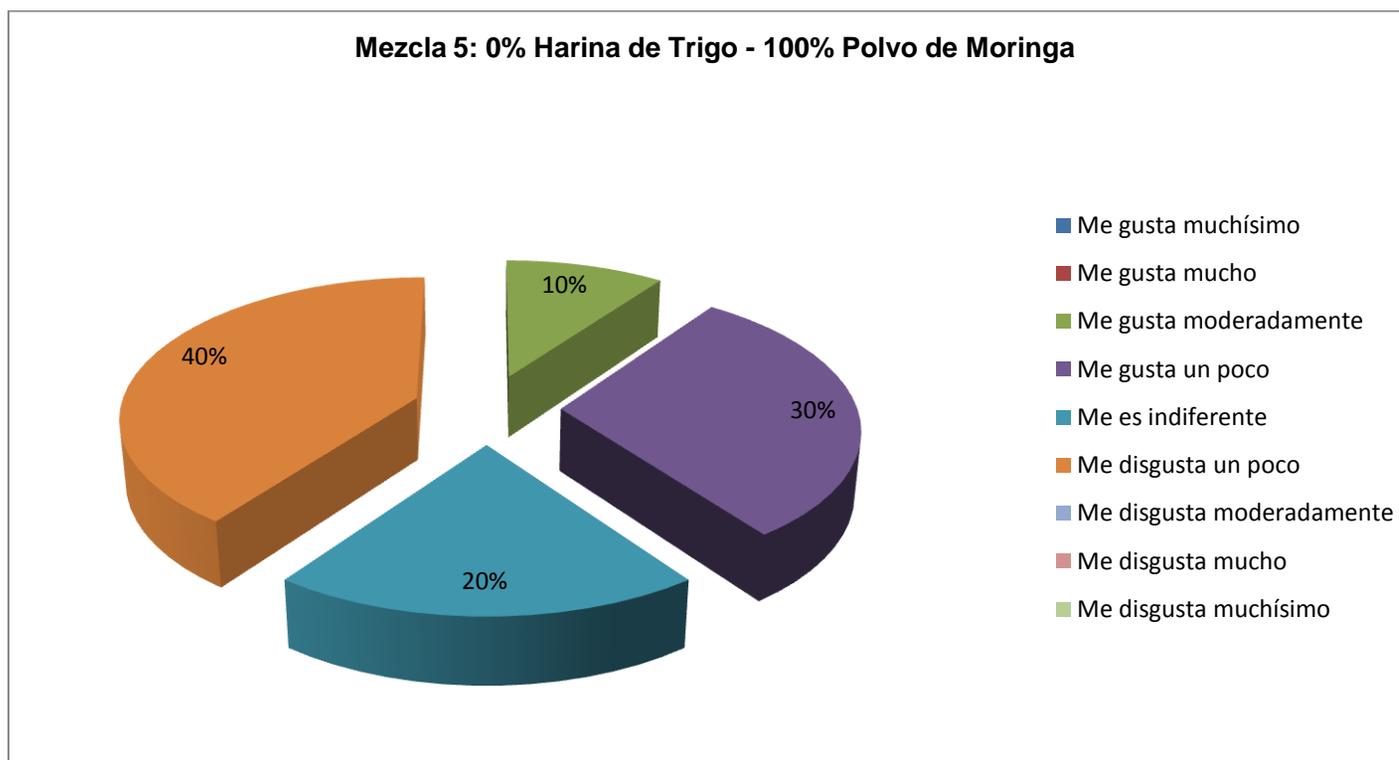
Figura 29. Evaluación descriptiva de la mezcla 4 en forma de galleta



175

Fuente: Laboratorio de Aleopatía, Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias, Universidad de Cádiz, España.

Figura 30. Evaluación descriptiva del polvo de la hoja de *Moringa oleifera* en forma de galleta

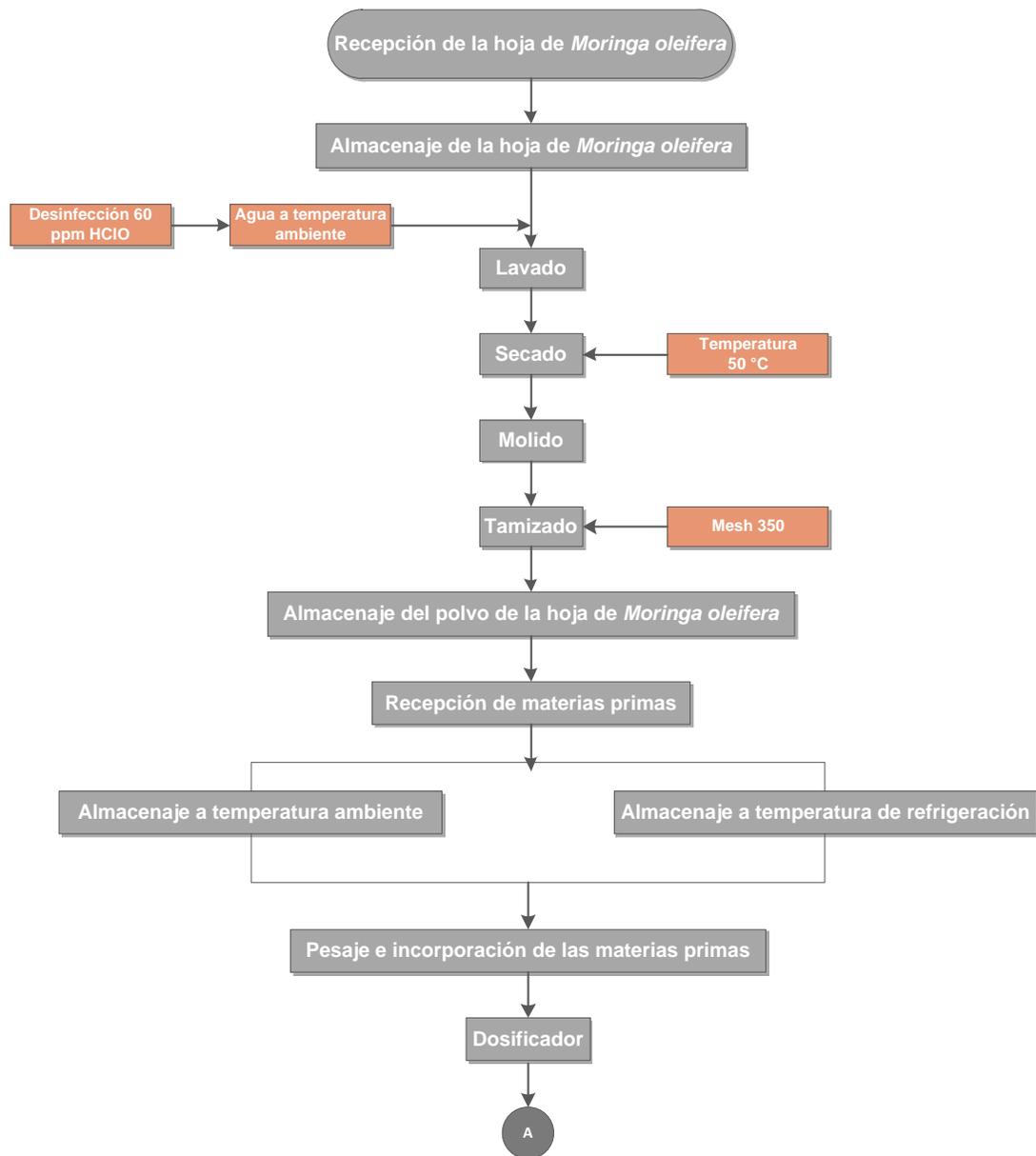


176

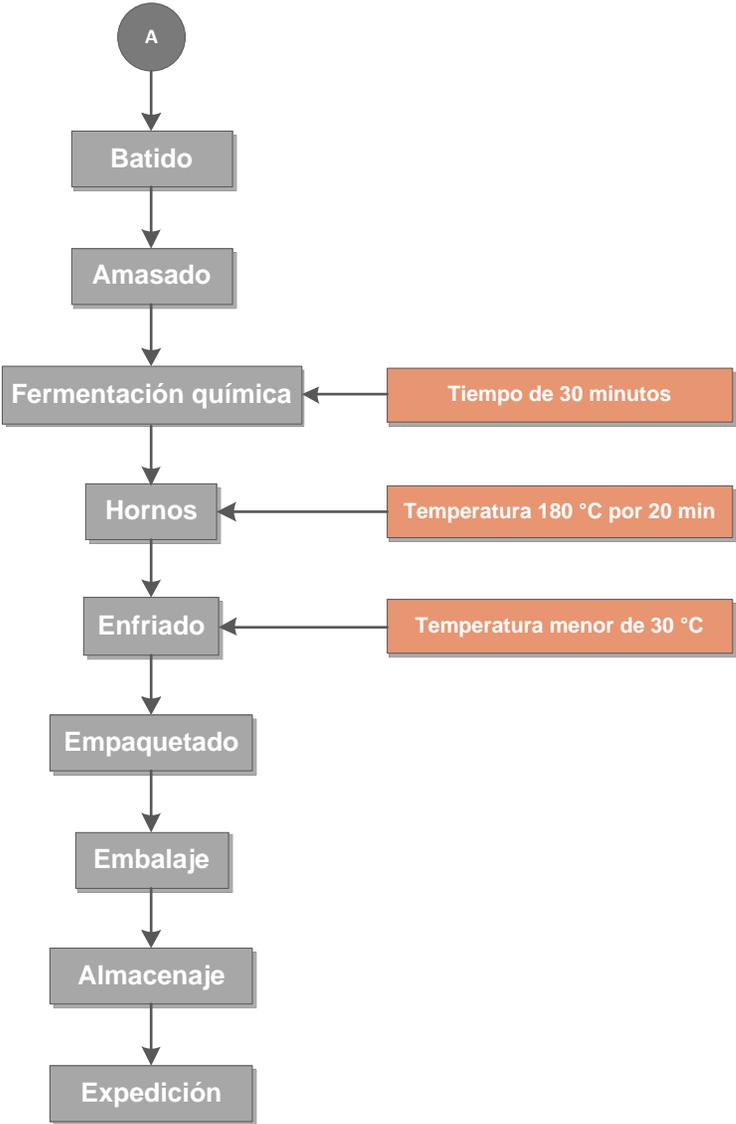
Fuente: Laboratorio de Alelopatía, Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias, Universidad de Cádiz, España.

4.9. Determinación de la línea de producción

Figura 31. Diagrama de flujo del proceso para la obtención de una galleta a partir de harina de trigo fortificada con polvo de hoja de paraíso blanco (*Moringa oleifera*)

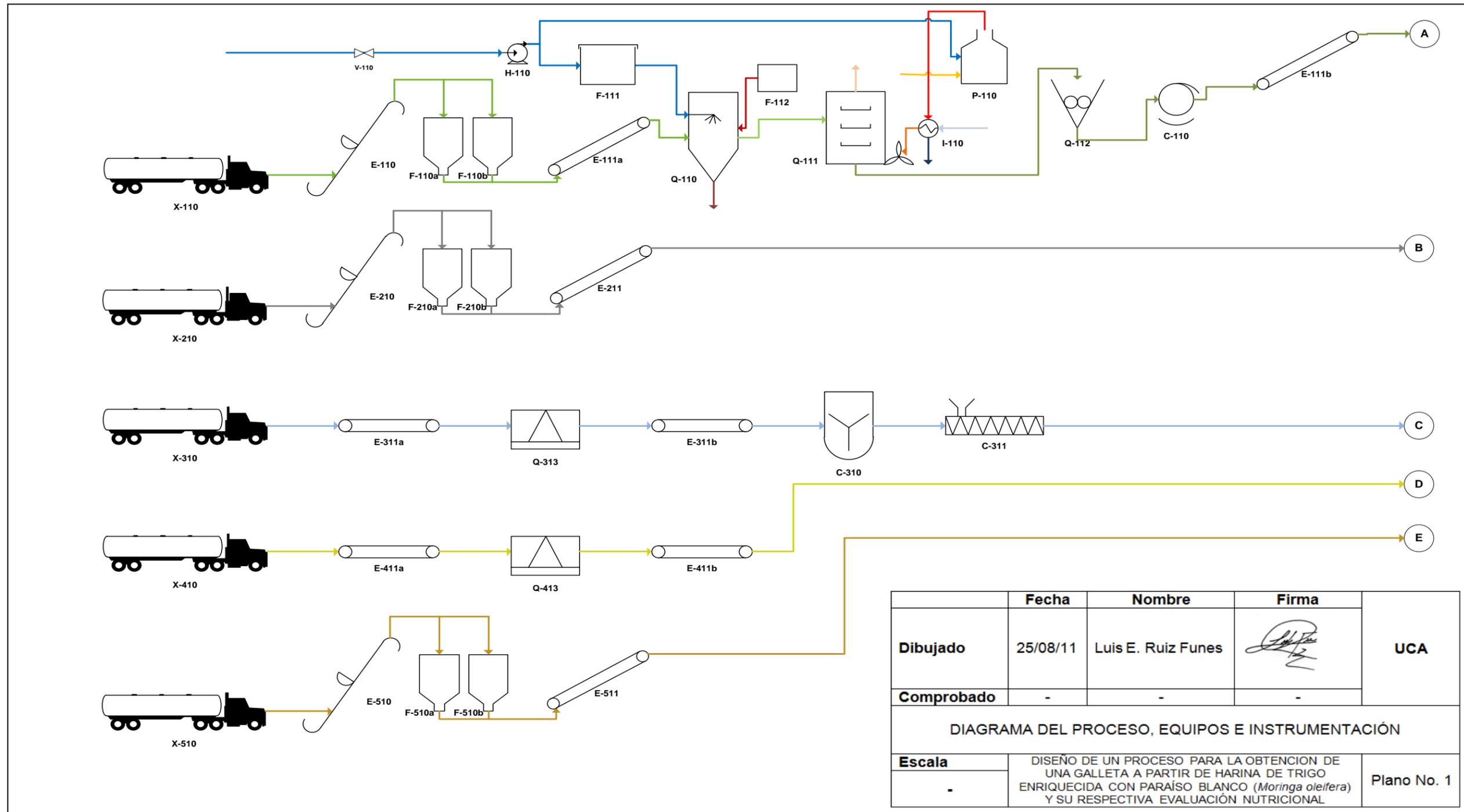


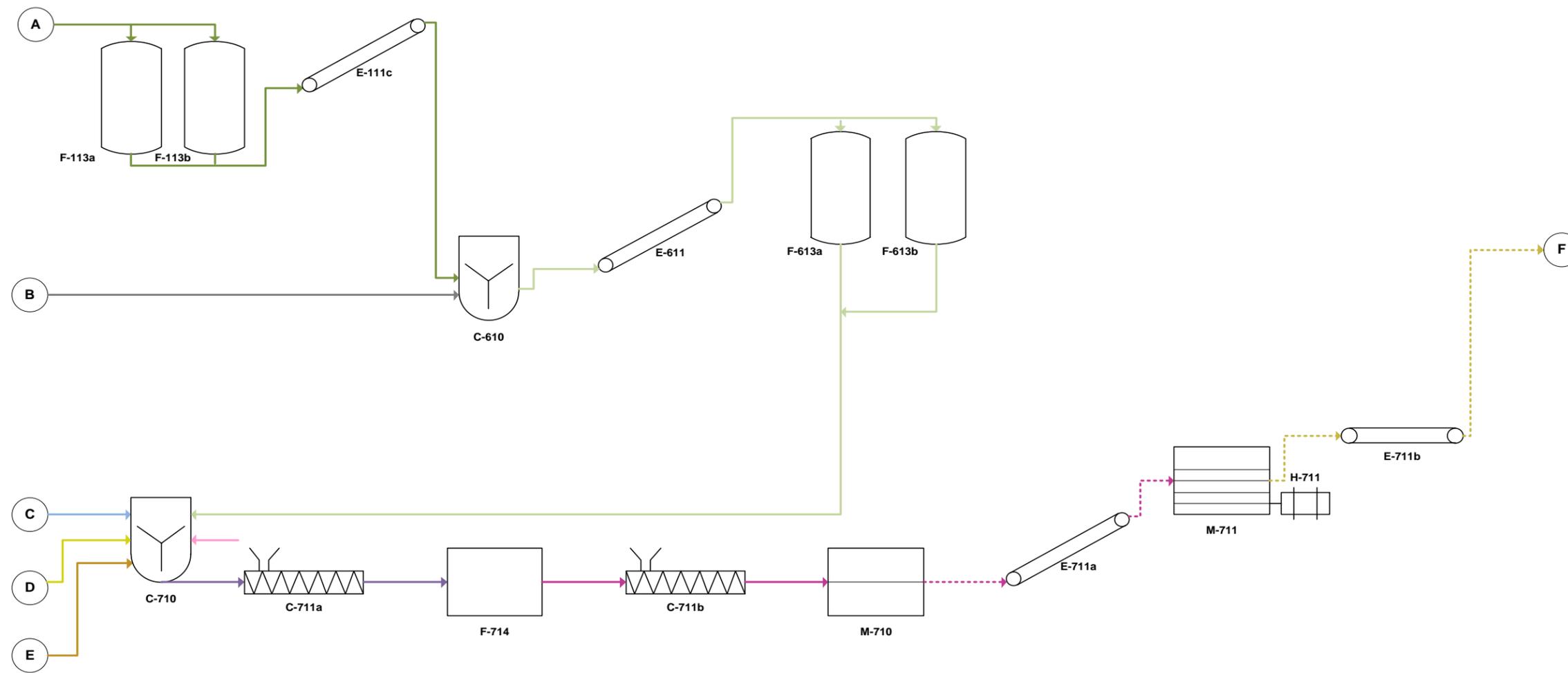
Continuación Figura 31



Fuente: elaboración propia

Figura 32. Diagrama de equipo del proceso para la obtención de una galleta a partir de harina de trigo fortificada con polvo de hoja de paraíso blanco (*Moringa oleifera*)





	Fecha	Nombre	Firma	
Dibujado	25/08/11	Luis E. Ruiz Funes		UCA
Comprobado	-	-	-	
DIAGRAMA DEL PROCESO, EQUIPOS E INSTRUMENTACIÓN				
Escala	DISEÑO DE UN PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE UNA GALLETA A PARTIR DE HARINA DE TRIGO ENRIQUECIDA CON PARAÍSO BLANCO (<i>Moringa oleifera</i>) Y SU RESPECTIVA EVALUACIÓN NUTRICIONAL			Plano No. 1
-				

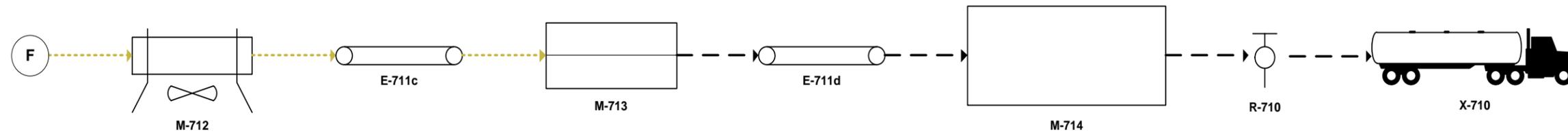


Tabla de Equipos			
Area	Código	Equipo	
100 Polvo de la hoja de <i>Moringa oleifera</i>	X-110	Camion transportador de hoja de <i>Moringa oleifera</i>	
	E-110	Montacargas de cangilones	
	F-110a – F-110b	Tanques de almacenamiento de la hoja de <i>Moringa oleifera</i>	
	E-111a – E-111c	Bandas transportadoras	
	Q-110	Lavadora por aspersion	
	F-111	Tanque de almacenamiento de agua	
	H-110	Bomba centrifuga	
	V-110	Valvula de compuerta	
	F-112	Tanque de almacenamiento de hipoclorito de sodio	
	Q-111	Secador de bandejas	
	I-110	Intercambiador de calor de coraza y tubos	
	F-110	Caldera acuatubular	
	Q-112	Molino de discos	
	C-110	Lamizador	
	F-113a – F-113b	Tanques de almacenamiento del polvo de hoja de <i>Moringa oleifera</i>	
	X-210	Camion transportador de harina de trigo	
	200 Harina de trigo	E-210	Montacargas de cangilones
		F-210a – F-210b	Tanques de almacenamiento de la hoja de <i>Moringa oleifera</i>
E-211		Banda transportadora	
300 Mantequilla	X-310	Camion transportador de mantequilla	
	E-311a – E-311b	Bandas transportadoras	
	Q-313	Cuarto refrigerado	
	C-310	Batidor	
400 Huevos	C-311	Transportador de tornillo sin tin	
	X-410	Camion transportador de huevos	
	E-411a – E-411b	Bandas transportadoras	
500 Azúcar	Q-413	Cuarto refrigerado	
	X-510	Camion transportador de azucar	
	E-510	Montacargas de cangilones	
600 Harina de trigo fortificada con polvo de hoja de <i>Moringa oleifera</i>	F-510a – F-510b	Tanques de almacenamiento de azucar	
	E-511	Banda transportadora	
	C-610	Mezclador	
700 Galleta	E-611	Banda transportadora	
	F-613a – F-613b	Tanques de almacenamiento de la harina de trigo fortificada con polvo de <i>Moringa oleifera</i>	
	C-710	Mezclador	
	C-711a – C-711b	Transportador de tornillo sin tin	
	F-714	Cuarto de reposo	
	M-710	Cuarto de moldeado	
	E-711a – E-711d	Bandas transportadoras	
	M-711	Horno	
	H-711	Motor electrico	
	M-712	Enfriador por corriente de aire	
	M-713	Empaquetadora	
	M-714	Bodega de almacenamiento	
R-710	Montacargas		
X-710	Camion transportador de la galleta		

Area	Flujos Color	Fluido/Aditivo
100 Polvo de la hoja de <i>Moringa oleifera</i>	→	Hoja de <i>Moringa oleifera</i>
	→	Agua a temperatura ambiente
	→	Hipoclorito de sodio
	→	Desecho del lavado
	→	Hoja de <i>Moringa oleifera</i> lavada
	→	Combustible
	→	Vapor vivo
	→	Aire a temperatura ambiente
	→	Aire caliente
	→	Condensado de vapor
	→	Aire saliente del secador
	→	Hoja deshidratada
	200 Harina de trigo	→
300 Mantequilla	→	Mantequilla
400 Huevos	→	Huevos
500 Azúcar	→	Azúcar
600 Harina de trigo fortificada con polvo de hoja de <i>Moringa oleifera</i>	→	Harina de trigo fortificada
700 Galleta	→	Aditivos
	→	Masa de la galleta
	→	Masa reposada de la galleta
	→	Masa de galleta moldeada
	→	Galletas homeadas
→	Galletas empaquetadas	

	Fecha	Nombre	Firma	
Dibujado	25/08/11	Luis E. Ruiz Funes		UCA
Comprobado	-	-	-	
DIAGRAMA DEL PROCESO, EQUIPOS E INSTRUMENTACIÓN				
Escala	DISEÑO DE UN PROCESO PARA LA OBTENCION DE UNA GALLETA A PARTIR DE HARINA DE TRIGO ENRIQUECIDA CON PARAÍSO BLANCO (<i>Moringa oleifera</i>) Y SU RESPECTIVA EVALUACIÓN NUTRICIONAL			Plano No. 1
-				

5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

En este estudio la evaluación nutricional de las hojas de paraíso blanco (*Moringa oleifera*) marcó el inicio para el desarrollo del proyecto en general, ya que sus propiedades nutricionales eran el eje impulsor para la fortificación de la harina de trigo y así obtener una galleta que fuera posible utilizar como un suplemento alimenticio.

Los antecedentes muestran la situación actual del árbol en Guatemala, refiriéndose a este como un recurso de primer orden con bajo coste de producción y elementos esenciales en la dieta alimenticia. La utilización de la hoja de *Moringa oleifera* surge a partir de conclusiones presentadas por Norma Carolina Alfaron (1) que demuestran la presencia de mas nutrientes en las hojas que en cualquier otra parte del árbol.

Es a través de esta afirmación que se desarrolló y estableció la hipótesis de este proyecto, y a partir de la cual se determinó la metodología de investigación, que partiría de un análisis químico nutricional, a una serie de mezclas que comprendían harina de trigo y polvo de hoja de *Moringa oleifera* como materia pura así como mezclas de los mismo en distintas proporciones en peso.

Luego de este estudio se procedió a realizar el análisis sensorial descriptivo con lo que se pudo medir por encuestas a una muestra de la población objetivo, algunas propiedades organolépticas de las harinas de las distintas mezclas en forma de galleta. Para concluir con un diseño del proceso para obtener una galleta a partir de la harina de trigo fortificada.

El estudio nutricional se inicia con la separación y determinación de lípidos por cromatografía en capa fina de alta resolución, que según el protocolo experimental de la Universidad de Cádiz se hace por una extracción con *n* – butanol como solvente, que logra extraer la parte lípidica de las muestras, que en este caso fueron harina de trigo y polvo de hoja de *Moringa oleifera* bajo lo que se conoce como lípidos totales. Los valores obtenidos para ambos compuestos se basaron en el documento de Karol Sanchinelli Pezzarossi (9).

Se ha determinado a su vez la composición de los ácidos grasos de la fracción lípidica de la harina de trigo, polvo de hoja de *Moringa oleifera* y sus mezclas utilizando el método de derivatización de los ácidos grasos como metilésteres y su posterior análisis por cromatografía de gases.

Los resultados obtenidos demuestran que la harina de trigo en su mayoría contiene 58.42% de ácido linoleico, 20.67% de ácido palmítico, 12.44% de ácido oleico y otra serie de ácidos grasos que no supera el 5% en composición. El polvo de hoja de *Moringa oleifera* mayoritariamente se compone de 37.85% de ácido linolénico, 31.15% de ácido palmítico, 10.53% de ácido linoleico y 6.27% de ácido oleico.

La mezcla 2 de harina de trigo y moringa oleifera en una proporción 70:30 respectivamente, contiene los mismos ácidos presentes en el polvo de la hoja de moringa oleifera en distintos porcentajes que incluyen 37.54% de ácido linoleico, 24.80% de ácido palmítico, 18.28% de ácido linolénico y 13.81% de ácido oleico.

La mezcla 3 de harina de trigo y moringa oleifera en una proporción 50:50 respectivamente, contiene un 27.42% de ácido linoleico, 26.46% de ácido palmítico, 24.29% de ácido linolénico y 8.41% de ácido oleico y la mezcla 4 de

harina de trigo y moringa oleífera en una proporción 30:70 respectivamente, contiene un 30.01% de ácido linolénico, 26.56% de ácido palmítico, 19.34% de ácido linoleico y 7.69% de ácido oleico.

Como es posible observar en los resultados antes expuestos, tanto las materias puras como las mezclas se componen fundamentalmente de ácidos grasos insaturados. Cabe destacar que las composiciones en ácidos de las mezclas es una adición entre los componentes en ácidos grasos de las materias puras, la cual estaba directamente ligada a la relación de proporciones en peso.

El estudio de la composición de la fibra alimentaria para las materias puras y las mezclas se realizó utilizando el método de Southgate. En él se somete a las muestras a diferentes tratamientos encaminados a la separación en sucesivas fracciones de los carbohidratos.

El componente principal de la fibra alimentaria para todas las muestras es la celulosa siendo la harina de trigo el compuesto con mayor composición de la misma, 55.67%, a su vez el polvo de la hoja de *Moringa oleífera* contiene 32.14%, la mezcla 2 un 43.82%, la mezcla 3 un 35.83% y la mezcla 4 un 26.23%.

Con esto datos se puede establecer que todas las muestras contienen una cantidad de celulosa que es beneficiosa para el consumidor; a pesar que está formada por glucosa, los animales no pueden utilizarla como fuente de energía, ya que no cuentan con la enzima necesaria para romper los enlaces β – 1,4-glucosídicos; sin embargo, es importante incluirla en la dieta humana porque facilita la digestión.

La hemicelulosa compuesto perteneciente a la fibra alimentaria se encuentra en la harina de trigo con un porcentaje del 13.70%, a su vez el polvo de la hoja de *Moringa oleifera* contiene 22.33%, la mezcla 2 un 22.65%, la mezcla 3 un 22.56% y la mezcla 4 un 27.13%.

Las hemicelulosas son polisacáridos lineales de alto peso molecular con ligaduras beta, se diferencian de la celulosa porque son mucho más solubles y más fácilmente hidrolizables. Los azúcares que sirven de unidades estructurales de las hemicelulosas, son principalmente los xilanos, las manosas y los galactanos.

Los otros componentes de la fibra alimentaria lignina y GMP (gomas, mucílagos y sustancias pépticas) se encuentran en porcentajes que varían entre 6 a 17%.

En general la fibra alimentaria se expresa como fibra cruda y da cuenta de aquella parte del material que no es soluble en agua y que no es digerido en el tracto digestivo humano, está compuesto por carbohidratos y lignina. Al no ser digeridos, no representan un aporte calórico ni nutricional a la dieta, no obstante, son fundamentales para dar volumen y textura al bolo alimenticio y facilitar su tránsito a través del sistema digestivo.

Puede llamar la atención que el poco almidón soluble e insoluble registrado por la harina de trigo, cuantifica el almidón residual en la muestra y no el total, el que pudo haberse degradado en los distintos tratamientos y digestiones de la fibra alimentaria.

El estudio de la determinación de proteínas para las materias puras y las mezclas se realizó utilizando el método de Kjeldahl. En él se sometió a las

muestras a un tratamiento de digestión con ácido sulfúrico concentrado a ebullición, con la adición de un catalizador. El nitrógeno contenido en la muestra se convirtió en amonio y que por medio de una destilación fue recogido en una disolución ácida como amoniaco. Finalmente la cantidad de nitrógeno se determinó por valoración ácido – base.

El porcentaje de proteínas para la harina de trigo fue de 9.37% lo cual es comparable con el valor de 10% presentado en la descripción nutricional de su paquete, indicando así una exactitud del método en uso. El polvo de la hoja de *Moringa oleifera* tuvo un 21.65%, la mezcla 2 un 13.26%, la mezcla 3 un 16.13% y la mezcla 4 un 19.06%.

Era de esperarse obtener un porcentaje proteico alto para el polvo de la hoja de *Moringa oleifera* pues la estructura, composición y función que cumple una hoja en un árbol es vital, para la vida del mismo.

En general los porcentajes de proteínas presentes en todas las muestras, dan a conocer el elevado contenido nutricional de estos. Es sabido que las proteínas son esenciales para la formación y mantenimiento de los tejidos corporales y su función en el organismo depende de su composición y secuencia aminoacídica y del tipo de enlaces que estabilizan su estructura. Pero también juegan un papel importante en las propiedades organolépticas de los alimentos.

La determinación de los azúcares totales y reductores se llevo a cabo por los métodos de fenol – sulfúrico y Somogyi – Nelson respectivamente; donde ambos métodos tienen como base de determinación del color por espectrofotometría y así por comparación con soluciones patrón de azúcares (glucosa), se determina las concentraciones presentes en las muestras.

Este estudio fue una continuación de la fibra alimentaria pues las muestras para medir los azúcares totales fueron obtenidas de la fibra alimentaria insoluble, como sobrenadantes acuosos provenientes de la hidrólisis de la celulosa donde se encuentran las hexosas; se aforaron a un volumen igual conocido para luego poder cuantificar la masa del almidón insoluble una variable determinante de la hemicelulosa presente en la fibra alimentaria.

Al igual que las muestras para analizar azúcares totales, las muestras de análisis de azúcares reductores fueron obtenidas de la fibra alimentaria soluble, como sobrenadantes etanólicos provenientes del tratamiento de los extractos acuosos donde se encuentran las GMP (gomas, mucílagos y sustancias pecticas) hidrolizadas en forma de sus correspondientes monosacáridos (hexosas, pentosas y ácidos urónicos); se aforaron a un volumen igual conocido para luego poder cuantificar la masa del almidón soluble una variable determinante de los GMP presente en la fibra alimentaria.

La harina de trigo tiene una concentración de azúcares totales de 607.77 mg/L y de azúcares reductores de 188.75 mg/L. El polvo de hoja de *Moringa oleifera* tiene 620.63 mg/L en azúcares totales y 113.25 mg/L en azúcares reductores.

La mezcla 2 tiene 456.79 mg/L y 151.40 mg/L en azúcares totales y reductores respectivamente. La mezcla 3 contiene en azúcares totales 496.40 mg/L y en azúcares reductores 134.85 mg/L. Y la mezcla 4 tiene una concentración de azúcares totales 583.22 mg/L y de azúcares reductores 98.55 mg/L.

Son los azúcares totales, los que en principio, pueden aportar nutrientes y valor calórico a la dieta. Además los azúcares reductores forman parte de los

azúcares totales y representan a la fracción de monosacáridos libres presentes en el material. Resulta llamativo que no haya homogeneidad en los datos de los azúcares totales de las mezclas ya que el contenido de la harina de trigo y polvo de hoja de *Moringa oleifera* tienen valores similares.

Se ha determinado los monosacáridos que componen los azúcares reductores por el método de azúcares como acetatos de alditol. El objetivo principal de este método consiste en modificar la molécula del polisacárido o monosacárido en una estructura que tenga una volatilidad alta, acetatos de alditol, para su posterior análisis por cromatografía de gases

Los resultados demuestran que la harina de trigo se compone casi en su totalidad de glucosa la cual representa un 89.08% de la composición total. El polvo de hoja de *Moringa oleifera* contiene seis monosacáridos todos en una proporción notable; su composición en manosa es de 27.34%, glucosa 26.67%, xilosa 12.41%, galactosa 11.62%, ramnosa 10.99% y Arabinosa 10.98%.

La mezcla 2 se compone en su mayoría de glucosa al 85.81%, manosa al 6.45%. La mezcla 3 disminuye su composición en glucosa a 77.62% y aumenta la manosa a 10.55 y por último la mezcla 4 contiene glucosa al 68.38%, manosa al 13.20% y galactosa al 6.36%.

Los altos valores de glucosa obtenidos en las distintas muestras solo rectifican los datos obtenidos por la fibra alimentaria donde el compuesto predominante era la celulosa la cual tiene como unidad estructural básica al monosacárido de glucosa. En el caso del polvo de hoja de *Moringa oleifera* y las distintas mezclas se aprecia la variedad de monosacáridos contenidos en su composición, los cuales van ligados también a la fibra alimentaria, ya que el segundo componente predominante era la hemicelulosa, que tiene xilanos,

manosas y galactosas que son azúcares que sirven de unidades estructurales. Con los resultados del análisis químico nutricional obtenido, fue posible la realización de la segunda fase de este proyecto que era la creación de la galleta. Se prepararon cinco harinas distintas en consideración a la Tabla No. X, con las cuales fue posible hacer cinco galletas con composición distintas.

Estas galletas se analizaron a través de una prueba sensorial descriptiva, con el fin de determinar cuál de las cinco mezclas era de más agrado para el consumidor. Se utilizó la evaluación de la escala hedónica, y consistió en encuestar a una muestra de la población objetivo a partir de la degustación de las galletas y que respondieran en cada caso si era de su agrado o no, usando una escala que variaba desde gustarle muchísimo hasta disgustarle muchísimo.

Los resultados obtenidos muestran que las cinco galletas fueron del agrado de los encuestados, siendo la galleta de la mezcla 4, la mejor evaluada según esta escala, ya que sus resultados se distribuyeron entre gustarle muchísimo a gustarle mucho con un 30 y 70% respectivamente.

La tercera y última fase de este proyecto busco diseñar un proceso para obtener la galleta con mayor aceptación popular y con altos valores nutricionales; estas evaluaciones fueron realizadas en las dos fases anteriores.

El diseño se inició con la realización del diagrama de flujo del proceso; esta herramienta permite identificar el tipo de equipo y su capacidad, así como su distribución dentro del área de producción.

El diagrama de flujo del proceso dio la pauta para la realización del diagrama de equipo el cual muestra a nivel industrial, la realización del polvo de hoja de moringa oleífera hasta la obtención de la galleta. La Figura 32 muestra

a exactitud el desglose de la producción de la galleta de harina de trigo fortificada con polvo de hoja de *Moringa oleifera*.

El proceso se iniciaría con la recepción de las distintas materias primas en las áreas correspondientes. La hoja de *Moringa oleifera*, harina de trigo y azúcar son descargadas por un montacargas de cangilones, y las demás materias, mantequilla y huevos pasteurizados que evitan el peligro de contaminación por salmonella y permite mejor dosificación, se descargan manualmente transfiriéndose a una banda transportadora y depositándolos en una cámara fría para prolongar más su vida de anaquel.

Tanto la hoja de *Moringa oleifera*, harina de trigo y azúcar deben ser almacenados en lugares propicios para evitar su contaminación o descomposición por agentes intrusos; por ello fue necesario considerar tanques de almacenamiento, tolvas, con lo que se usa su parte inferior para extraer el material de las mismas, debido a su forma de embudo en el fondo.

La obtención del polvo de la hoja de *Moringa oleifera*, se iniciará con el transporte por medio de una banda desde las tolvas hasta el lavador por aspersión donde las hojas se desinfectan y separadas de cualquier cuerpo extraño que las acompañe. La desinfección se realiza con hipoclorito de sodio a 60 partes por millón (ppm) y son mantenidas por un tiempo de 20 minutos con el objetivo de asegurar la desinfección de las mismas, luego son lavadas con abundante agua a temperatura ambiente, la cual proviene del servicio público, pozo perforado o de una planta de tratamientos de agua creada por la planta.

Las hojas mojadas se trasladan a un secador de bandejas, el cual aparte de extraer el agua proveniente del lavado, extraerá el agua interna de la propia hoja hasta su deshidratación; este horno funcionara a una temperatura no

superior a los 50 °C para asegurar la preservación de las propiedades nutricionales de la hoja y evitar la termolabilidad. El mecanismo de calefacción del secador es vapor proveniente de una caldera acuotubular, la cual es posible dimensionar en base a los requerimientos de vapor, los cuales a su vez van ligados a la producción diaria de la galleta.

El vapor es transportado por tubería metálica aislada hacia un intercambiador de calor, donde el calor latente del vapor se transfiere por transferencia del mismo al aire que es el fluido objetivo a calentar. Al aire caliente se le mide su temperatura y saturación estableciendo valores de 60 °C y 60% respectivamente, luego de eso es circulado hacia el secador por un ventilador invertido, lo cual succiona el aire hacia dentro, este aire circula desde la parte inferior del secador hasta la superior en donde por contacto íntimo entre las distintas fases vaporiza el agua contenida en las hojas, y esta sale por arriba con un nivel de saturación mayor.

El tiempo de retención que durará el secado se obtendrá por pruebas en planta piloto para establecer las curvas de secado características de este sistema. Con las hojas deshidratadas y secas es posible transferirlas al molino de discos donde se pulverizaran para obtener así una especie de polvo de granulometría variada.

Para homogenizar dicha granulometría se procede a tamizar el polvo obtenido, a través de un tamiz con un número de mesh de 350. El polvo homogenizado se traslada por medio de banda sin fin con inclinación a silos, para resguardarlo de la humedad y descomposición hasta su posterior uso.

La harina de trigo es transportada hacia un mezclador en donde se pone en contacto con el polvo de la hoja de *Moringa oleifera*, para producir la harina de trigo fortificada. En este punto es necesario tener presente que la mezcla se realiza en una proporción de peso establecida por lo tanto las dos materias primas tendrán que ser pesadas para saber que la harina a obtener tenga las especificaciones requeridas. Al igual que el polvo de la hoja de *Moringa oleifera* esta mezcla es almacenada en silos.

Luego de esto se inicia el proceso de realización de la galleta con el batido de la mantequilla hasta tener una masa con consistencia firme y definida, la cual es transportada por un tornillo sin fin, debido a su alta viscosidad, hasta el mezclador donde se le añaden el resto de ingredientes, harina de trigo fortificada, azúcar, huevos, sal, esencias y aditivos. Esto se mezcla hasta tener homogeneidad y es transportado por el mismo mecanismo de tornillo sin fin a un cuarto de reposo donde se espera a que la masa fermente, por un tiempo aproximado de 1 hora.

La masa reposada y fermentada es trasladada a la sección de moldeo donde a partir de una maquina moldeadora, la masa es estirada a grosor constante y cortada en pequeños círculos redondos. Las galletas crudas son transportadas por una banda sin fin a un horno a una temperatura de 180 °C por un tiempo de 20 minutos. Este horno es eléctrico.

Las galletas cocidas se transportan a un enfriador por corriente de aire para agilizar el proceso de enfriado hasta una temperatura menor de 30 °C. Esta temperatura debe ser en el interior de la galleta, para saber a exactitud esta temperatura son utilizadas 2 o 3 galletas del lote a las cuales se les inserta un sensor de calor, el cual establece su temperatura y si cumplen o no las condiciones.

Cuando la temperatura es la óptima las galletas son trasladadas por una banda sin fin a la sección de empaquetado y embalaje donde una máquina empaquetadora hace el trabajo del empaquetamiento donde se le es colocada su ficha nutricional y fecha de caducidad; el embalaje es realizado por la mano de obra humana. Las cajas llenas y selladas son movilizadas por bandas transportadoras sin fin de una mayor capacidad hasta la zona de almacenamiento donde esperaran para su carga en los distintos camiones que las repartirán en los lugares establecidos.

Es necesario aclarar la ausencia del dimensionamiento de la maquinaria a utilizar, esto debió a que el estudio de campo realizado no muestra una perspectiva real de producción de la galleta y por ser un producto de nuevo ingreso las consideraciones deben ser mayores.

Pero para poder dimensionar y seleccionar el equipo es importante tomar en consideración, en primera instancia los días laborables al año y establecer por investigación de campo la cantidad demandada diaria. Con lo cual se podrá dimensionar el equipo empleado por su capacidad y establecer la cantidad de materia prima necesaria para la elaboración de las galletas.

Para la selección de equipo es necesario primero establecer qué tipo de maquinaria se requiere, consultar catálogos de maquinaria industrial para conocer a los proveedores o fabricantes que pueden proveer el equipo requerido, de ser necesario, consultar el material de construcción de los mismos y finalmente solicitar su cotización.

Luego de eso es posible utilizar la técnica desarrollada por Pugh en 1981 para selección de equipo. El método consiste en evaluar de manera cualitativa los criterios que presentan las diferentes alternativas (equipo), tomando en

cuenta su importancia, precio de cada una y el valor de alternativa de referencia (equipo nominal), así sucesivamente hasta obtener una valoración de todas las opciones para elegir la de mayor valor que represente el equipo que mejor cumple con las características necesarias.

Para que un equipo funcione correctamente y tenga mayor tiempo de utilidad se debe mantener en buenas condiciones (humedad, ventilación, iluminación, etc.) y hacerlo trabajar solamente el tiempo necesario por día, mayor al 40% y menor al 80% del tiempo total de un turno de producción.

6. CRONOGRAMA

Calendario de Trabajo de Graduación																						
No.	Actividad	Inicio	Fin	Duración	Abril 2011				Mayo 2011					Junio 2011				Julio 2011				
					4	11	18	25	2	9	16	23	30	6	13	20	27	4	11	18	25	
1	Elaboración de Protocolo	04/04/11	25/04/11	22 días																		
2	Revisión de Protocolo	26/04/11	06/05/11	11 días																		
3	Presentación de Protocolo	09/05/11	09/05/11	1 día																		
4	Aprobación de Protocolo	09/05/11	09/05/11	1 día																		
5	Fase Experimental	25/04/11	27/06/11	64 días																		
6	Compra de la Hoja de Paraíso Blanco (<i>Moringa oleifera</i>)	13/04/11	15/04/11	3 días																		
7	Elaboración de Harina de la hoja de Paraíso Blanco (<i>Moringa oleifera</i>)	15/04/11	25/04/11	10 días																		
8	Análisis químico de las propiedades nutricionales de las distintas mezclas de harina de trigo enriquecida con Paraíso Blanco (<i>Moringa oleifera</i>)	27/04/11	10/06/11	45 días																		
9	Elaboración de la galleta a partir de las distintas mezclas de harina	13/06/11	15/06/11	3 días																		
10	Análisis sensoriales de las propiedades organolépticas de la galleta	16/06/11	17/06/11	2 días																		

11	Diseño de una línea de producción para la galleta usando algún software de computador	06/06/11	24/06/11	19 días	
12	Elaboración del Informe Final	27/06/11	22/07/11	26 días	
13	Presentación del Informe Final	27/07/11	27/07/11	1 día	
14	Aprobación del Informe Final	27/07/11	27/07/11	1 día	

7. PRESUPUESTO

Tabla XXXV. **Costos de la materia prima**

Cantidad	Artículo	Descripción	Costo Unitario	Costo Total	Referencia
2	Harina de Trigo	Kg	0.70 €/Kg	1.40 €	Mercadona
2	Hoja de <i>Moringa oleifera</i>	Kg	100.00 €/Kg	200.00 €	Vitalmor
			Subtotal	201.40 €	

Fuente: Laboratorio de Aleopatía, Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias, Universidad de Cádiz, España.

Tabla XXXVI. **Costos de material y cristalería**

Cantidad	Artículo	Descripción	Capacidad	Costo Unitario	Costo Total	Referencia
2	Ampollas de decantación	Vidrio Boeco	25 mL	46.80 €	93.60 €	Sigma - Aldrich
2	Balón Aforado	Vidrio Boeco	100 mL	26.70 €	53.40 €	Sigma - Aldrich
2	Balón aforado	Vidrio Boeco	1000 mL	63.40 €	126.80 €	Sigma - Aldrich
5	Beacker	Vidrio Boeco	25 mL	8.00 €	40.00 €	Sigma - Aldrich

1	Beacker	Vidrio Boeco	50 mL	8.00 €	8.00 €	Sigma - Aldrich
2	Beacker	Vidrio Boeco	200 mL	8.00 €	16.00 €	Sigma - Aldrich
1	Beacker	Vidrio Boeco	2000 mL	16.40 €	16.40 €	Sigma - Aldrich
1	Bureta	Vidrio con Llave de Teflón DIV 0.02	25 mL	80.00 €	80.00 €	Sigma - Aldrich
4	Embudos	Porcelana	500 mL	38.40 €	153.60 €	Sigma - Aldrich
3	Espátulas	Mango de Madera	15 cm de Largo	16.00 €	48.00 €	Sigma - Aldrich
1	Jeringuilla Hamilton	Plástico	10 µL	2.00 €	2.00 €	Sigma - Aldrich
100 Unidades	Papel Filtro	Whatman No. 20	12.5 cm	0.50 €	50.00 €	Sigma - Aldrich
1	Matraz de Fondo Redondo	Vidrio Kimax	100 mL	54.50 €	54.50 €	Sigma - Aldrich
1	Mortero	Porcelana	275 mL	28.40 €	28.40 €	Sigma - Aldrich
4	Picetas	Plástico	500 mL	20.00 €	80.00 €	Sigma - Aldrich
1	Pipeta Automática	Plástico	50 µL	233.00 €	233.00 €	Sigma - Aldrich
1	Pipeta Automática	Plástico	500 µL	2.00 €	2.00 €	Sigma - Aldrich
1	Probeta	Vidrio Pirex	50 mL	80.00 €	80.00 €	Sigma - Aldrich
2	Pipetas Automáticas	Plástico	10 mL	249.00 €	498.00 €	Sigma - Aldrich
5	Termómetros	Vidrio Boeco	100 °C	53.70 €	268.50 €	Sigma - Aldrich
5	Tubos de Ensayo	Vidrio Pirex	25 mL	10.00 €	50.00 €	Sigma - Aldrich
5	Tubo de Hidrólisis	Vidrio Pirex	25 mL	25.00 €	125.00 €	Sigma - Aldrich
1	Vaso de Precipitado	Vidrio Pirex	200 mL	50.00 €	50.00 €	Sigma - Aldrich
2	Vidrio de Reloj	Vidrio Boeco	35 cm de D	15.00 €	30.00 €	Sigma - Aldrich
				Subtotal	2,187.20 €	

Fuente: Laboratorio de Alelopatía, Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias, Universidad de Cádiz, España.

Tabla XXXVII. Costos por uso del equipo

Nombre	Descripción	Precio	Depreciación/año	Costo/2 meses	Referencia
Balanza analítica	Kern ABT 0.0001g	2,236.00 €	223.60 €	37.27 €	Sigma – Aldrich
Centrífuga	Eppendorf Centrifuge 5702	1,520.50 €	152.05 €	25.34 €	Sigma – Aldrich
Cromatógrafo de gases y espectro de masas en capa fina de alta resolución	Varian	70,000.00 €	7,000.00 €	1,166.66 €	Agilent Technologies
Equipo de Kjeldahl	Labotec	2,112.68 €	211.27 €	35.21 €	Insbal
Equipo Soxhlet	Ace giant, 0.5 L	625.50 €	62.55 €	10.43 €	Sigma - Aldrich
Estufa de vacío	MTI Corporation (12 x 12 x 11", 25 L)	2,463.38 €	246.33 €	41.06 €	MTI Corporation
Horno de bandeja de flujo transversal	MTI Corporation (12 x 12 x 11", 25 L)	4,000.00 €	400.00 €	66.66 €	MTI Corporation
Plancha de calentamiento	Ika® C – Mag	582.40 €	58.24 €	9.71 €	Sigma - Aldrich
Rotavapor	Heidolph, Laborata 4010	3495.40 €	349.54 €	58.26 €	Sigma - Aldrich
Subtotal				1,450.60 €	

201

Fuente: Laboratorio de Aleopatía, Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias, Universidad de Cádiz, España.

Tabla XXXVIII. Costos de los reactivos

Cantidad	Artículo	Descripción	Costo Total	Referencia
1 Kit	1 – Metilimidazol	Ampollas (1 mL c/u)	80.40 €	Sigma - Aldrich
1	Acetato Cúprico	500 g	85.70 €	Sigma - Aldrich
1	Acetato de Etilo	2.5 L	68.40 €	Sigma - Aldrich
1	Acetato de Metilo	2 L	59.40 €	Sigma - Aldrich
1	Acetona	1 L	40.40 €	Sigma - Aldrich
1	Ácido Acético	0.5 L	39.60 €	Sigma - Aldrich
1	Ácido Clorhídrico	2.5 L	70.20 €	Sigma - Aldrich
1	Ácido Fosfórico	500 g	47.20 €	Sigma - Aldrich
1	Ácido Margárico	500 mg	209.50 €	Sigma - Aldrich
1	Ácido Perclórico	0.1 L	27.80 €	Sigma - Aldrich
1	Ácido Sulfúrico	1 L	61.30 €	Sigma - Aldrich
1	Ácido Trifluoroacético	1 L	347.20 €	Sigma - Aldrich
1	Agua destilada	19 L	3.00 €	Sigma - Aldrich
1	Anhídrido Acético	1 L	43.10 €	Sigma - Aldrich
1	Arseniato Disódico	100 g	122.80 €	Sigma - Aldrich
1	Bicarbonato Sódico	1 Kg	21.80 €	Sigma - Aldrich
1	Borohidruro de Sodio	100 g	122.80 €	Sigma - Aldrich
1	Carbonato Sódico	1 Kg	122.80 €	Sigma - Aldrich
1	Ciclohexano	1 L	72.40 €	Sigma - Aldrich
1	Cloroformo	0.025 L	20.70 €	Sigma - Aldrich

1	Cloruro de Potasio	1 Kg	104.50 €	Sigma - Aldrich
1	Diclorometano	2.5 L	148.40 €	Sigma - Aldrich
1	Etanol	1 L	125.00 €	Sigma - Aldrich
1	Éter Etílico	2.5 L	68.40 €	Sigma - Aldrich
1	Fenol	500 g	181.70 €	Sigma - Aldrich
1	Fenolftaleína	500 g	66.00 €	Sigma - Aldrich
1	Glucosa	1 g	95.90 €	Sigma - Aldrich
1	Hexano	1 L	65.50 €	Sigma - Aldrich
1	Hidróxido de Sodio	1 Kg	78.40 €	Sigma - Aldrich
1	Iso – Octano	2 L	95.80 €	Sigma - Aldrich
1	Isopropanol	0.5 L	49.90 €	Sigma - Aldrich
1	Metanol	2.5 L	130.00 €	Sigma - Aldrich
1	Molibdato Amónico	100 g	169.60 €	Sigma - Aldrich
1 Kit	Myo – Inositol	Ampollas (1 mL c/u)	70.10 €	Sigma - Aldrich
1	n - Butanol	0.5 L	59.20 €	Sigma - Aldrich
1	Óxido Cuproso	100 g	48.80 €	Sigma - Aldrich
1	Piridina	1 L	138.00 €	Sigma - Aldrich
1	Solución Tapón Acetato	0.5 L	21.30 €	Sigma - Aldrich
1	Sulfato Cúprico Pentahidratado	250 g	54.50 €	Sigma - Aldrich
1	Sulfato de Cobre	250 g	40.50 €	Sigma - Aldrich
1	Sulfato de Potasio	250 g	34.30 €	Sigma - Aldrich
1	Sulfato Sódico Decahidratado	100 g	17.50 €	Sigma - Aldrich
1	T – Butanol	1 L	54.80 €	Sigma - Aldrich
1	Takadiastasa (Fluka)	100 g	122.80 €	Sigma - Aldrich

1	Tartrato Sódico Potásico	25 g	30.80 €	Sigma - Aldrich
1	Tolueno	1 L	83.90 €	Sigma - Aldrich
1 Kit	Tri – Sil	Ampollas (1 mL c/u)	61.70 €	Sigma - Aldrich
Subtotal			3,883.80 €	

Fuente: Laboratorio de Aleopatía, Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias, Universidad de Cádiz, España.

Tabla XXXIX. **Costos totales en Euros y Quetzales**

Descripción	Subtotal
Costos de la Materia Prima	201.40 €
Costos de Material y Cristalería	2,187.20 €
Costos por uso del Equipo	1,450.60 €
Costos de los Reactivos	3,883.80 €
TOTAL	7,723.00 €
TOTAL	Q 87,733.28

Fuente: Laboratorio de Aleopatía, Departamento de Química Orgánica, Facultad de Ciencias, Universidad de Cádiz, España.

Tipo de Cambio € 1.00 = Q11.36 (Según el Banco de Guatemala el 06 de Mayo del 2011)

CONCLUSIONES

1. La cantidad de nutrientes de la harina de trigo fortificada está influenciada por la proporción en peso del polvo de hoja de *Moringa oleifera* agregada.
2. Mediante los resultados del análisis químico y prueba de aceptación, se determinó que de las cinco mezclas evaluadas la mezcla 4, que contiene 30% de harina de trigo y 70% de polvo de hoja de Paraíso Blanco (*Moringa oleifera*) es la que más se adecua a un alimento nutricionalmente mejorado.
3. La parte lípidica de la harina de trigo corresponde a 1.22% y el del polvo de la hoja de *Moringa oleifera* 2.30%, valores que influyen energéticamente en la demanda requeridas diarias de la ingesta humana.
4. La mezcla 4 de harina de trigo y de polvo de hoja de *Moringa oleifera* en proporción 30:70; contiene un 30.01% de ácido linolénico, 26.56% de ácido palmítico, 19.34% de ácido linoleico, 7.69% de ácido oleico, lo que conforma casi en su totalidad los ácidos grasos presentes en la mezcla, y fundamentalmente de carácter insaturado.

5. La fibra alimentaria que compone a la mezcla 4, es en su mayoría hemicelulosa en un 27.13%, celulosa en un 26.23%, lignina en un 13.15% y GMP (gomas, mucílagos y sustancias pécticas) en un 7.28%; estos compuestos no representan un valor nutricional ni calórico a la dieta diaria, no obstante, son fundamentales para dar volumen y textura al bolo alimenticio y facilitar su tránsito a través del sistema digestivo.
6. La mezcla 4 contiene 19.06% de proteínas, lo que confiere a esta harina mejorada un valor nutritivo elevado, así como un papel importante en las propiedades organolépticas ya que ejercen influencia directa en la textura de este alimento.
7. Los azúcares totales presentes en la mezcla 4, contienen una concentración de 583.22 mg/L, los cuales aportan la mayor parte del valor calórico a la dieta diaria alimenticia.
8. La mezcla 4 tiene una concentración de azúcares reductores de 98.55 mg/L, que en su mayoría representan la fracción de monosacáridos libres presentes.
9. Los monosacáridos que componen la mezcla 4 son en su mayoría glucosa al 68.38% rectifica los resultados de la fibra alimentaria donde es este monosacárido la unidad estructural de la celulosa el compuesto predominante. Aparte se cuantifica manosa al 13.20% y galactosa al 6.36%.
10. La mayor aceptabilidad se da en la mezcla 4, con un puntaje promedio de 8.30 que equivale en la escala hedónica a la categoría “me gusta mucho”.

RECOMENDACIONES

1. Realizar un análisis químico nutricional a las galletas obtenidas luego del proceso de fabricación, para determinar los porcentajes de nutrientes y compararlos con los obtenidos por la harina de trigo enriquecida con polvo de *Moringa oleifera*.
2. Evaluar los nutrientes de la hoja de *Moringa oleifera* cosechadas en distintas zonas.
3. Realizar un análisis biológico para determinar la cantidad de proteína metabolizable de las galletas.
4. Evaluar una mezcla de harina de trigo, polvo de la hoja de *Moringa oleifera* y semilla triturada de *Moringa oleifera* y comparar sus resultados con los obtenidos en este proyecto.
5. Variar el tipo de producto final a partir de la harina de trigo enriquecida con polvo de la hoja de *Moringa oleifera*.
6. Realizar un estudio nutricional que incluya la investigación de las vitaminas, minerales y aminoácidos presentes en la hoja de *Moringa oleifera* como en la mezcla con harina de trigo.
7. Hacer una investigación de campo lo suficientemente grande, para determinar la aceptación de la galleta en el mercado alimentario.

8. Dimensionar los equipos industriales para la planta de producción a partir de la demanda diaria obtenida por una investigación de campo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Academia del área de plantas piloto de alimentos. Introducción a la tecnología de alimentos. 2ª ed. México: Editorial Limusa. 1994. 148 pp.
2. ADANS. Familia MORINGACEAE [En línea]. [Ref. de 06 de junio de 2011].
Disponible en <http://www.arbolesornamentales.es/Moringaceae.htm>.
3. ALFARON, Norma Carolina. Rendimiento y uso potencial de Paraíso Blanco, *Moringa oleifera* Lam en la Producción de alimentos de alto valor nutritivo para su utilización en comunidades de alta vulnerabilidad alimentario – nutricional de Guatemala. Guatemala: 2008. 150 pp.
4. ALFARON, Norma Carolina y Walter Martínez. Uso potencial de la Moringa (*Moringa oleifera*, Lam) para la Producción de Alimentos Nutricionalmente Mejorados. Guatemala: 2008. 29 pp.
5. BARCELÓ MAIRATA, Francisca. Técnicas instrumentales en bioquímica y biología. 1ª ed. España: Editorial Universidad de las Islas Baleares. 2003. 300 pp.
6. CABELLOS SÁNCHEZ, Pablo Javier y otros. Manual de aplicación del sistema APPCC en industrias de confitería – pastelería, bollería y repostería de Castilla – La Mancha. España: 2004. 140 pp.

7. CANOSA RODRÍGUEZ, María del Pilar. Desarrollo de metodología analítica para la determinación de triclosán y parabenos. Aplicación al estudio de su distribución y transformación en muestras ambientales. Universidad de Santiago de Compostela. Facultad de Química. España.
8. CODEX ALIMENTARIUS [En línea]. Roma, Italia. [Ref. de 10 de agosto de 2011].
Disponible en <http://www.codexalimentarius.net>.
9. CORNELL, Hugh J. y Albert W. Hoveling. Wheat chemistry and utilization. Estados Unidos: 4ª Edición Editorial. 2009. 489 pp.
10. Cromatografía de capa fina (Thin layer chromatography). [En línea]. [Ref. de 17 de julio de 2011].
Disponible en <http://www.relaq.mx/RLQ/tutoriales.htm>.
11. El Árbol de la vida (Moringa) una solución para bajar la desnutrición en el mundo. [En línea]. [Ref. de 06 de junio de 2011].
Disponible en <http://chapinesdeorienteblogspot.com/2010/11/el-arbol-de-la-vida-moringa-una.html>.
12. El maná verde del trópico. [En línea]. [Ref. de 20 de junio de 2011].
Disponible en <https://sites.google.com/site/helviobh/morigaoleifera>.
13. GALLEGO PÉREZ, María del mar. Manual de buenas prácticas de fabricación en una industria elaboradora de pan, pan especial y productos de pastelería biológicos. España: 2004. 205 pp.

14. GREENFIELD, H. y D.A.T. Southgate. Datos de composición de alimentos. 2ª ed. Roma: Organización de las Naciones Unidad para la Agricultura y la Alimentación (FAO). 2003. 312 pp.
15. Instructions Tri – Sil HTP Reagent. Thermo Scientific. [En línea]. [Ref. de 02 de agosto de 2011]. Disponible en <http://www.thermo.com/pierce>.
16. J. PASTO, Daniel y Carlos R. Johnson. “Determinación de estructuras orgánicas. España: Editorial Reventé. 2003. 580 pp.
17. MADRID, A. Confeitería y pastelería: Manual de formación. 1ª ed. España: Editorial AMV. 1999. 500 pp.
18. MATZ, Samuel Adam. The chemistry and technology of cereals as food and feed. 2ª ed. Estados Unidos: Editorial The Avi Publishing Company. 1991. 751 pp.
19. *Moringa oleifera*. [En línea]. [Ref. de 06 de junio de 2011]. Disponible en <http://www.foro-cualquiera.com/ecologia-naturaleza/43160moringa-oleifera.html>.
20. Organización de las Naciones Unidad para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Producción y manejo de datos de composición química de alimentos en nutrición. Análisis de fibra dietética. [En línea]. [Ref. de 06 de agosto de 2011]. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/010/ah833s/AH833S18.htm>.

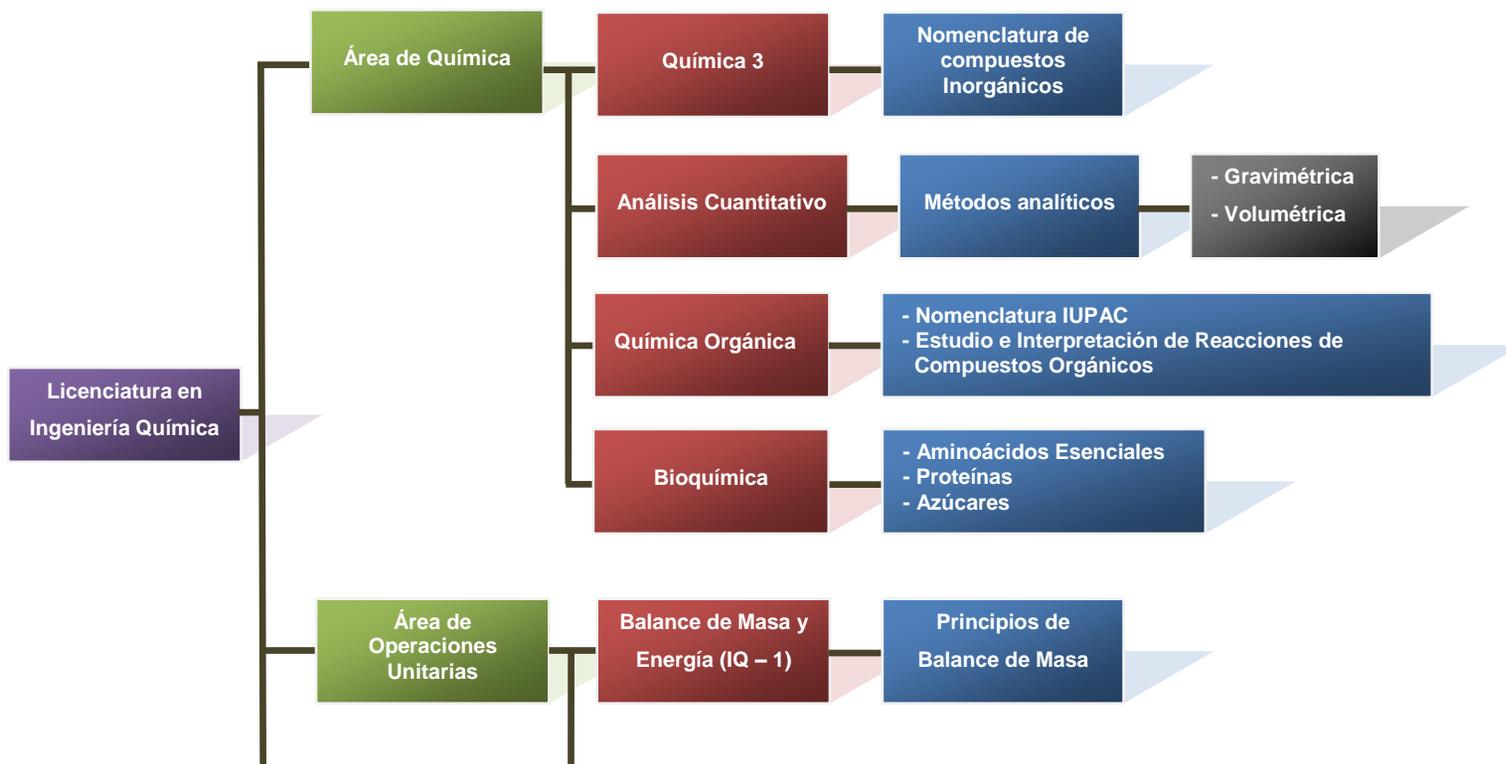
21. Organización de las Naciones Unidad para la Agricultura y la Alimentación (FAO). Producción y manejo de datos de composición química de alimentos en nutrición. Métodos de analisis para la determinación de nitrógeno y constituyentes nitrogenados en alimentos. [En línea]. [Ref. de 06 de agosto de 2011]. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/010/ah833s/AH833S17.htm>.
22. PERRY, R. H. Manual del Ingeniero Químico. 6^a ed. México: Editorial McGraw – Hill. 1992.
23. ROQUEL CHÁVEZ, Mercedes Esther. Diseño de una línea de producción para la elaboración de harina de camote (Ipomoea Batata). Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala. Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Química, 2008.
24. Sahjan “Moringa oleifera” [En línea]. [Ref. de 22 de agosto de 2011]. Disponible en <http://moringamexico.com/#slogan4>.
25. SANCHINELLI PEZZAROSSO, Karol Beatriz. Contenido de proteína y aminoácidos, y generación de descriptores sensoriales de los tallos, hojas y flores de *Moringa oleifera* Lamark (Moringaceae) cultivada en Guatemala. Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, 2004.
26. SANCHO, J. y otros. Introducción al análisis sensorial de los alimentos. 1^a ed. España: Editorial Universidad de Barcelona. 1999. 240 pp.
27. SIERRA ALONSO, Isabel y otros. Experimentación en química analítica. Universidad Rey Juan Carlos. España: 2007. 110 pp.

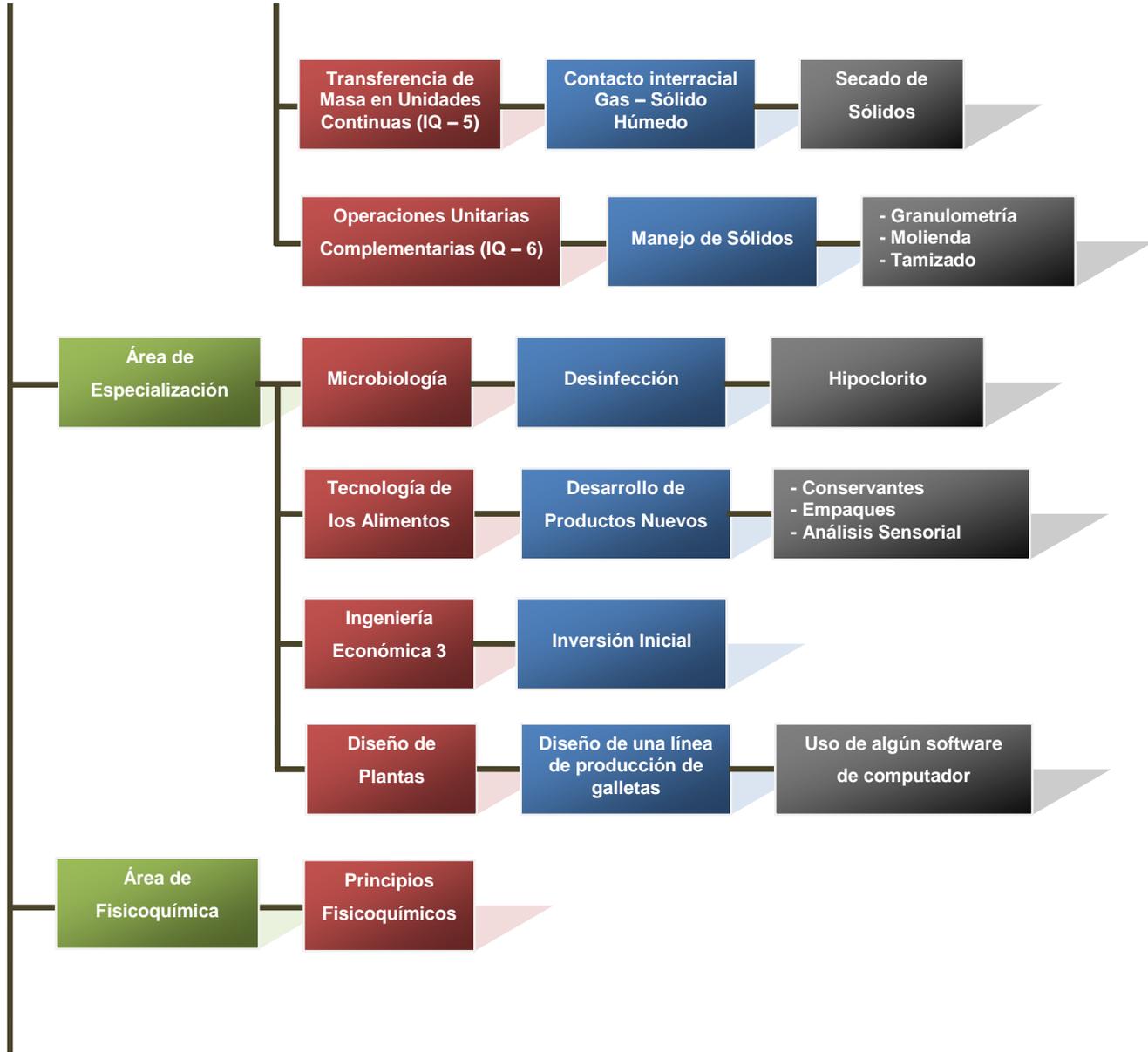
28. Sociedad colombiana de moringa "Fullmoringa". [En línea]. [Ref. de 08 de junio de 2011]. Disponible en <http://fullmoringa.com.co/quienessomos.html>.
29. Universidad de Alicante, Departamento de Ingeniería Química. Cromatografía de gases. [En línea]. [Ref. de 05 de agosto de 2011]. Disponible en <http://www.thermo.com/pierce>.

ANEXOS

Anexo 1. Tabla de requisitos académicos

215

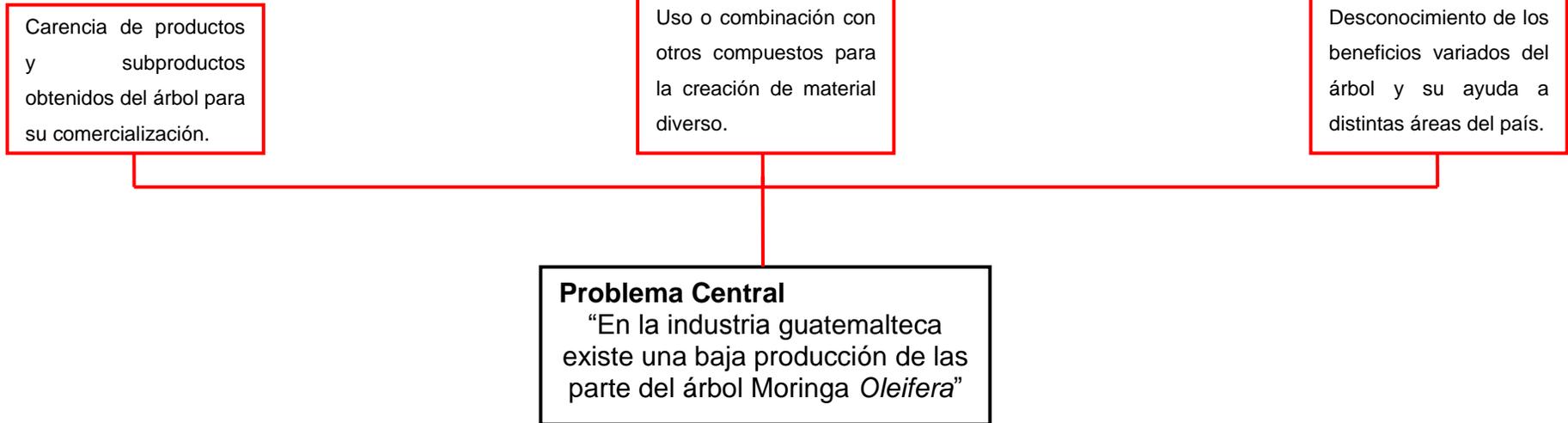




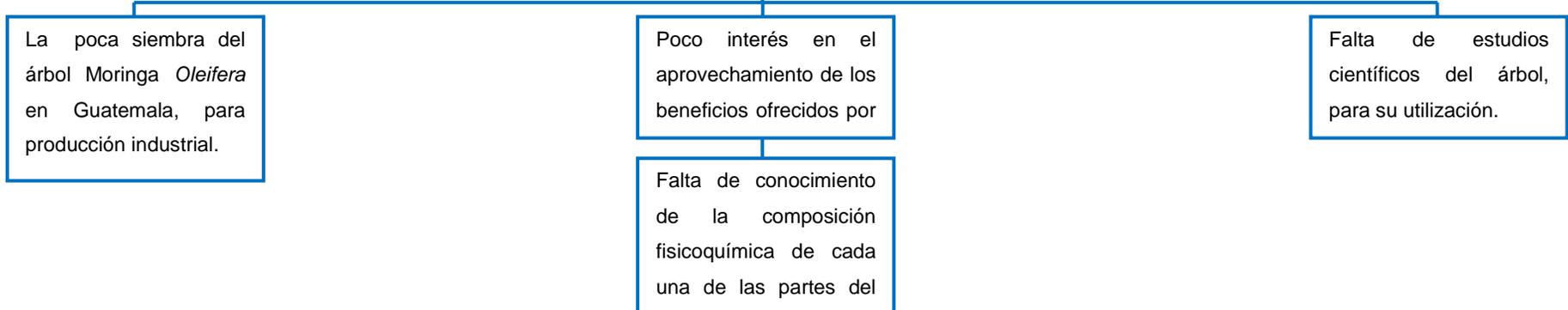


Anexo 2. Árbol de problemas

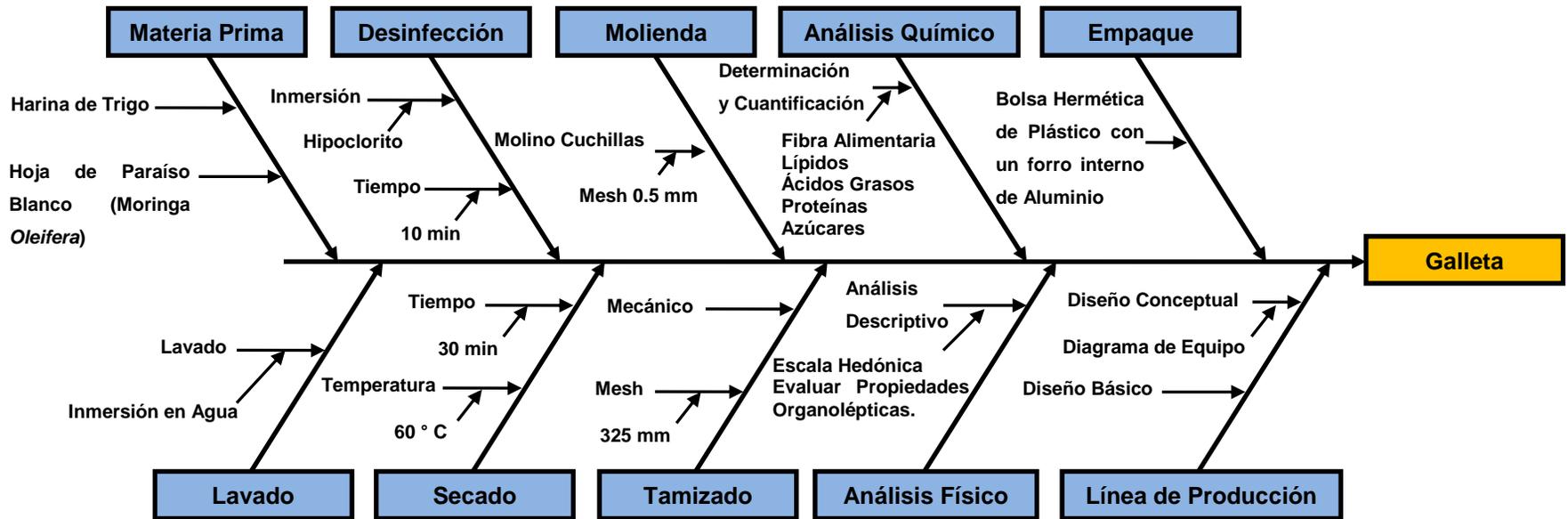
Efectos



Causas



Anexo 3. Diagrama de Ishikawa



Anexo 4. Valor nutritivo de *M. oleífera*

(Por 100 gramos de porción comestible)

Nutriente	Parte comestible		
	Fruto	Hojas	Polvo de hoja
Agua (%)	86.9	75.0	7.5
Calorías	26	92	205
Proteína (g)	2.5	6.7	27.1
Grasa (g)	0.1	1.7	2.3
Carbohidratos (g)	3.7	13.4	38.2
Fibra (g)	4.8	0.9	19.2
Minerales (g)	2.0	2.3	-
Calcio (mg)	30	440	2003
Magnesio (mg)	24	24	368
Fósforo (mg)	110	70	204
Potasio (mg)	259	259	1324
Cobre (mg)	3.1	1.1	0.57
Hierro (mg)	5.3	7.0	28.2
Azufre (mg)	137	137	870
Ácido oxálico (mg)	10	101	1.6
Vitamina A – Beta caroteno (mg)	0.11	6.8	16.3
Vitamina B – Colina (mg)	423	4123	-
Vitamina B1 – Tiamina (mg)	0.05	0.21	2.64
Vitamina B2 – Riboflavina (mg)	0.07	0.05	20.5
Vitamina B3 – Ácido nicotínico (mg)	0.2	0.8	8.2
Vitamina C – Ácido ascórbico	120	220	17.3
Vitamina E – Acetato tocoferol (mg)	-	-	113

	(g/16gN)	(g/16gN)	
Arginina	3.6	6.0	1.33%
Histidina	1.1	2.1	0.61%
Lisina	1.5	4.3	1.32%
Triptófano	0.8	1.9	0.435%
Fenilalanina	4.3	6.4	1.39%
Metionina	1.4	2.0	0.35%
Treonina	3.9	4.9	1.19%
Leucina	6.5	9.3	1.95%
Isoleucina	4.4	6.3	0.83%
Valina	5.4	7.1	1.06%

Fuente: Sanchinelli Pezzarossi, Karol Beatriz. "Contenido de proteína y aminoácidos, y generación de descriptores sensoriales de los tallos, hojas y flores de *Moringa oleifera* Lamark (Moringaceae) cultivada en Guatemala". Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, 2004. Pág. 61.

Anexo 5. Composición de aminoácidos de *M. oleifera*

Contenido de aminoácidos de la Moringa, reportados por diversas fuentes g/16 g N								
Aminoácidos	Extracto de hojas		Materia seca		Hojas no extraídas		Hojas ^c	Polvo de hoja (g/Kg) ^b
	a	B	A	B	b	Materia seca (g/Kg) ^b		
Lisina	6.40	6.61	23.00	26.77	5.6	14.06	4.3	13.2
Leucina	9.00	9.86	32.40	42.89	8.7	21.84	9.3	19.5
Isoleucina	4.70	5.18	16.90	22.53	4.50	11.30	6.3	8.3
Metionina	1.50	2.06	5.30	8.96	1.98	4.97	2.0	3.5
Cistina	0.50	1.19	1.90	5.18	1.35	3.39	-	-
Fenilalanina	6.00	6.24	21.40	27.14	6.18	15.51	6.4	13.9
Tirosina	4.10	4.34	14.80	18.88	3.87	9.71	-	-
Valina	5.40	6.34	19.40	27.58	5.68	14.26	7.1	10.6
Histidina	2.10	3.12	8.60	13.57	2.99	7.50	2.1	6.1
Treonina	4.50	5.05	16.30	21.97	4.66	11.70	4.9	11.9
Serina	4.60	4.78	15.70	20.79	4.12	10.34	-	-
A. Glutámico	12.00	11.69	43.20	50.85	10.22	25.65	-	-
A. Aspártico	9.20	10.60	33.10	46.11	8.83	22.16	-	-
Prolina	4.60	5.92	16.50	25.75	5.43	13.63	-	-
Glicina	4.60	6.12	16.70	26.62	5.47	13.73	-	-

Alanina	5.30	6.59	29.20	28.67	7.32	18.37	-	-
Arginina	6.00	6.96	21.60	30.28	6.23	15.64	6.0	13.3
Triptófano	0.60	62.13	2.30	9.26	2.10	5.27	1.9	4.3

Fuente: Sanchinelli Pezzarossi, Karol Beatriz. "Contenido de proteína y aminoácidos, y generación de descriptores sensoriales de los tallos, hojas y flores de *Moringa oleifera* Lamark (Moringaceae) cultivada en Guatemala". Universidad de San Carlos de Guatemala. Guatemala, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, 2004. Pág. 62.

APÉNDICE

Apéndice 1. Preparación de la galleta

Ingredientes

- 1 $\frac{3}{4}$ Tazas de Mezcla 1 de harina de trigo enriquecida
- 1 Huevo
- 1 Taza de azúcar
- $\frac{1}{2}$ Taza de mantequilla
- 1 Cucharadita de polvo para hornear
- 1 Cucharadita de esencia de vainilla
- 1 Cucharadita de sal yodada

Preparación

Batir la mantequilla hasta que quede como una crema, poco a poco añadir el resto de los ingredientes, mezclando muy bien para que la masa quede suave. Refrigerar durante 2 horas.

En una superficie limpia y enharinada, extender la masa con un rodillo para luego, con un molde ir cortando las galletas. Se colocan separadas en una bandeja engrasada y se meten al horno durante 10 o 12 minutos aproximadamente, a una temperatura de 175 °C.

Este proceso se repite con las otras mezclas de harina de trigo enriquecida.

Apéndice 2. Muestra de cálculo

1. Determinación de ácidos grasos de los lípidos

1.1. Calibrado

La determinación por cromatografía siempre es referida a cromatogramas de compuesto conocidos que son luego comparados con las muestras estudiadas, dichos compuestos se suelen denominar patrones.

En este caso fue utilizada una solución que contiene 37 ácidos grasos que fueron analizados por cromatografía dando el siguiente resultado:

Ácidos grasos presentes en la solución patrón

No.	Ácido Graso	
1	C4:0	Butirato de metilo
2	C6:0	Caproato de metilo
3	C8:0	Caprilato de metilo
4	C10:0	Caproato de metilo
5	C11:0	Undecanoato de metilo
6	C12:0	Laurato de metilo
7	C13:0	Tridecanoato de metilo
8	C14:0	Miristato de metilo
9	C14:1	Miristoleato de metilo
10	C15:0	Pentadecanoato de metilo
11	C15:1	cis-10-pentadecenoato de metilo
12	C16:0	Palmitato de metilo
13	C16:1	Palmitoleato de metilo

14	C17:0	Heptadecanoato de metilo
15	C17:1	cis-10-heptadecenoato de metilo
16	C18:0	Estearato de metilo
17	C18:1n9c	Oleato de metilo
18	C18:1n9t	Elaidato de metilo
19	C18:2n6c	Linoleato de metilo
20	C18:2n6t	Linoelaidato de metilo
21	C18:3n6	Gamma-linoleato de metilo
22	C18:3n3	Linolenato de metilo
23	C20:0	Araquidato de metilo
24	C20:1	cis-11-eicosenoato de metilo
25	C20:2	cis-11,14-eicosadienoato de metilo
26	C20:3n6	cis-8,11,14-eicosatrienoato de metilo
27	C21:0	Heneicosanoato de metilo
28	C20:3n3	cis-11,14,17-eicosatrienoato de metilo
29	C20:4n6	Araquidonato de metilo
30	C20:5n3	cis-5,8,11,14,17-eicosapentaenoato de metilo
31	C22:0	Behenato de metilo
32	C22:1	Eruciato de metilo
33	C22:2	cis-13,16-docosadienoato de metilo
34	C23:0	Tricosanoato de metilo
35	C24:0	Lignocerato de metilo
36	C22:6n3	cis-4,7,10,13,16,19-docosahexaenoato de metilo
37	C24:1	Nervonato de metilo

1.2. Determinación del factor de respuesta

Se establece como una relación que existe entre cada uno de los compuestos analizados y un patrón interno que es agregado a la muestra para tener los márgenes de comparación establecidos. En el caso de los ácidos grasos es común usar cis – 10 – heptadecenoato de metilo, C17:0, o Heneicosanoato de metilo, C21:0. Los cuales reflejan en cromatogramas picos en el mismo lugar y tiempo de retención.

$$R.F. = \frac{C_i * A_{is}}{A_i * C_{is}}$$

(Ecuación No. 11)

Donde:

- R.F. = Factor de respuesta, (Adimensional)
- C_i = Concentración de la muestra, (mM)
- A_i = Área de cada pico del cromatograma, (Adimensional)
- C_{is} = Concentración del patrón interno, (mM)
- A_{is} = Área del pico del patrón interno, (Adimensional)

El área de cada uno de los picos del cromatograma es calculado con el propio software del cromatógrafo. Y lo que hace es integrar el área bajo la curva con la ayuda de algún método de integración numérico avanzado.

1.3. Determinación de la concentración de cada ácido graso

La determinación de la concentración de cada ácido graso contenido en la muestra analizada se cuantifica con la ecuación del inciso anterior, con un reordenamiento de las variables para dejar despejado la concentración de la muestra o ácido graso, C_i .

$$C_i = \frac{R.F. * A_i * C_{is}}{A_{is}}$$

(Ecuación No. 12)

Donde:

- C_i = Concentración de cada ácido graso, (mg)
 $R.F.$ = Factor de respuesta, (Adimensional)
 A_i = Área del pico representativo de cada ácido graso, (Adimensional)
 C_{is} = Concentración del patrón interno, (mg)
 A_{is} = Área del pico del patrón interno, (Adimensional)

1.4. Determinación del porcentaje de ácidos grasos de la concentración total

$$\%AG = \frac{C_i}{C_T} * 100$$

(Ecuación No. 13)

Donde:

- $\%AG$ = Porcentaje de cada ácido graso presentes en la concentración total, (%)
 C_i = Concentración de cada ácido graso, (mg)
 C_T = Concentración total, (mg)

1.5. Determinación del porcentaje de ácidos grasos de la muestra

$$\%AG_m = \frac{C_i}{m} * 100$$

(Ecuación No. 14)

Donde:

$\%AG_m$ = Porcentaje de cada ácido graso contenido en la muestra,
(%)

C_i = Concentración de cada ácido graso, (mg)

m = Masa de la muestra analizada, (mg)

2. Determinación de la fibra alimentaria

2.1. Determinación de gomas, mucílagos y sustancias pépticas (GMP)

$$\text{GMP} = \text{Residuo A}' - \text{Residuo B}' - \text{Almidón soluble}$$

(Ecuación No. 15)

Donde:

GMP	=	Gomas, mucílagos y sustancias pépticas, (mg)
Residuo A'	=	Extractos acuosos tratados con etanol absoluto, (mg)
Residuo B'	=	Residuo de la digestión de Takadiastasa tratado con ácido sulfúrico, (mg)
Almidón soluble	=	Será determinado como glucosa, por la medición de azúcares reductores, (mg). Véase Determinación de azúcares reductores

2.2. Determinación de hemicelulosa

$$\text{HC} = \text{Residuo A} - \text{Residuo B} - \text{Almidón insoluble}$$

(Ecuación No. 16)

Donde:

HC	=	Hemicelulosa, (mg)
Residuo A	=	Residuos de la extracción con agua, (mg)
Residuo B	=	Residuo tratado tras hidrólisis ácida, (mg)
Almidón insoluble	=	Será determinado como glucosa, por la medición de azúcares reductores, (mg). Véase Determinación de azúcares reductores

2.3. Determinación de celulosa

$$C = \text{Residuo B} - \text{Residuo C}$$

(Ecuación No. 17)

Donde:

- C = Celulosa, (mg)
Residuo B = Residuo tratado tras hidrólisis ácida, (mg)
Residuo C = Residuo tratado tras hidrólisis al 72%, (mg)

2.4. Determinación de lignina

$$L = \text{Residuo C}$$

(Ecuación No. 18)

Donde:

- L = Lignina, (mg)
Residuo C = Residuo tratado tras hidrólisis al 72%, (mg)

3. Determinación de proteínas

3.1. Estandarización de soluciones

$$C_1 * V_1 = C_2 * V_2$$

(Ecuación No. 19)

Donde:

C_1 = Concentración de la solución a estandarizar, (mol/L)

V_1 = Volumen de la solución a estandarizar, (L)

C_2 = Concentración del patrón estandarizador, (mol/L)

V_2 = Volumen del patrón estandarizador, (L)

3.2. Porcentaje de proteínas en la muestra

$$\%P = \frac{1.4 * 6.25}{m} (N_a * V_a - N_b * V_b)$$

(Ecuación No. 20)

Donde:

$\%P$ = Porcentaje de proteínas en la muestra, (%)

6.25 = Factor de conversión de nitrógeno orgánico a proteínas,
(Adimensional)

m = Masa de la muestra tratada, (g)

N_a = Normalidad de la solución de ácido sulfúrico neutralizada,
(mol/Kg)

V_a = Volumen de la solución de ácido sulfúrico neutralizada, (mL)

N_b = Normalidad de la solución de hidróxido de sodio, (mol/Kg)

V_b = Volumen de la solución de hidróxido de sodio, (mL)

3.3. Cuantificación en peso de las proteínas en la muestra

$$P = \frac{\%P}{100} * m$$

(Ecuación No. 21)

Donde:

P = Proteína en masa, (g)

%P = Porcentaje de proteínas en la muestra, (%)

m = Masa de la muestra tratada, (g)

4. Determinación de los azúcares totales

4.1. Calibrado

Se prepararon muestras de glucosa de concentración 400, 200, 100, 50, 25 y 12.5 mg/L, y se midió la absorbancia con la ayuda del espectrofotómetro a una longitud de onda igual a 490 nm.

Una vez obtenidos los datos, se prosiguió a correlacionar gráficamente la concentración de la glucosa con la absorbancia obtenida, ajustando así los datos por mínimos cuadrados y se obtuvo la siguiente ecuación:

$$A = 0,005C - 0.081$$

(Ecuación No. 22)

El coeficiente de correlación de esta regresión es:

$$R^2 = 0,998$$

(Ecuación No. 23)

Donde:

A = Absorbancia medida a 490 nm, (Adimensional)

C = Concentración de glucosa, (mg/L)

4.2. Determinación de la concentración de azúcares totales

La determinación de la concentración de los azúcares totales contenido en la muestra analizada se cuantifica con la ecuación del inciso anterior, con un reordenamiento de las variables para dejar despejado la variable de la concentración, C.

$$C = \frac{A + 0.081}{0.005}$$

(Ecuación No. 24)

Donde:

A = Absorbancia medida a 490 nm, (Adimensional)

C = Concentración de glucosa, (mg/L)

4.3. Determinación de la masa de almidón soluble

$$AS = C * V_T$$

(Ecuación No. 25)

Donde:

AS = Almidón soluble, (mg)

C = Concentración de glucosa, (mg/L)

V_T = Volumen total de las extracciones recogidas, (L)

5. Determinación de los azúcares reductores

5.1. Calibrado

Se prepararon muestras de glucosa de concentración 400, 200, 100, 50, 25 y 12.5 mg/L, y se midió la absorbancia con la ayuda del espectrofotómetro a una longitud de onda igual a 610 nm.

Una vez obtenidos los datos, se prosiguió a correlacionar gráficamente la concentración de la glucosa con la absorbancia obtenida, ajustando así los datos por mínimos cuadrados y se obtuvo la siguiente ecuación:

$$A = 0,002C - 0.069$$

(Ecuación No. 26)

El coeficiente de correlación de esta regresión es:

$$R^2 = 0,99$$

(Ecuación No. 27)

Donde:

A = Absorbancia medida a 610 nm, (Adimensional)

C = Concentración de glucosa, (mg/L)

5.2. Determinación de la concentración de azúcares reductores

La determinación de la concentración de los azúcares reductores contenido en la muestra analizada se cuantifica con la ecuación del inciso anterior, con un reordenamiento de las variables.

$$C = \frac{A + 0.069}{0.002}$$

(Ecuación No. 28)

Donde:

A = Absorbancia medida a 610 nm, (Adimensional)

C = Concentración de glucosa, (mg/L)

5.3. Determinación de la masa de almidón insoluble

$$AI = C * V_T$$

(Ecuación No. 29)

Donde:

AI = Almidón insoluble, (mg)

C = Concentración de glucosa, (mg/L)

V_T = Volumen total de las extracciones recogidas, (L)

6. Determinación de azúcares como acetatos de alditol

6.1. Calibrado

La determinación por cromatografía siempre es referida a cromatogramas de compuesto conocidos que son luego comparados con las muestras estudiadas, dichos compuestos se suelen denominar patrones.

En este caso fue utilizada una solución que contiene 9 azúcares que fueron analizados por cromatografía dando el siguiente resultado:

Azúcares presentes en la solución patrón

No.	Azúcares
1	Ramnosa
2	Fucosa
3	Ribosa
4	Arabinosa
5	Xilosa
6	Manosa
7	Myo-inositol
8	Glucosa
9	Galactosa

6.2. Determinación del factor de respuesta

Se establece como una relación que existe entre cada uno de los compuestos analizados y un patrón interno que es agregado a la muestra para tener los márgenes de comparación establecidos. En el caso de los azúcares es común usar Myo – Inositol.

$$R.F. = \frac{C_i * A_{is}}{A_i * C_{is}}$$

(Ecuación No. 30)

Donde:

- R.F. = Factor de respuesta, (Adimensional)
- C_i = Concentración de la muestra, (mM)
- A_i = Área de cada pico del cromatograma, (Adimensional)
- C_{is} = Concentración del patrón interno, (mM)
- A_{is} = Área del pico del patrón interno, (Adimensional)

El área de cada uno de los picos del cromatograma es calculado con el propio software del cromatógrafo. Y lo que hace es integrar el área bajo la curva con la ayuda de algún método de integración numérico avanzado.

6.3. Determinación de la concentración de azúcares

La determinación de la concentración de cada azúcar contenido en la muestra analizada se cuantifica con la ecuación del inciso anterior, con un reordenamiento de las variables para dejar despejado la concentración de la muestra o azúcar, C_i .

$$C_i = \frac{R.F.* A_i * C_{is}}{A_{is}}$$

(Ecuación No. 31)

Donde:

- C_i = Concentración de cada ácido graso, (mg)
- R.F. = Factor de respuesta, (Adimensional)
- A_i = Área del pico representativo de cada azúcar, (Adimensional)

C_{is} = Concentración del patrón interno, (mg)

A_{is} = Área del pico del patrón interno, (Adimensional)

6.4. Determinación del porcentaje de azúcares en la concentración total

$$\%A = \frac{C_i}{C_T} * 100$$

(Ecuación No. 32)

Donde:

$\%A$ = Porcentaje de cada azúcar presentes en la concentración total, (%)

C_i = Concentración de cada azúcar, (mg)

C_T = Concentración total, (mg)

6.5. Determinación del porcentaje de azúcares de la muestra

$$\%A_m = \frac{C_i}{m} * 100$$

(Ecuación No. 33)

Donde:

$\%A_m$ = Porcentaje de cada azúcar contenido en la muestra, (%)

C_i = Concentración de cada azúcar, (mg)

m = Masa de la muestra analizada, (mg)

7. Evaluación sensorial descriptiva (Escala Hedónica)

7.1. Factor de corrección

$$FC = \frac{(\text{Gran total})^2}{N}$$

(Ecuación No. 34)

Donde:

- FC = Factor de corrección
Gran Total = Suma del total de tratamientos o panelistas
N = Número total de respuestas

7.2. Suma total de los cuadrados

$$SC(T) = \Sigma(\text{Cada respuesta individual}^2) - FC$$

(Ecuación No. 35)

Donde:

- SC(T) = Suma total de los cuadrados
FC = Factor de corrección

7.3. Suma de los cuadrados de los tratamientos

$$SC(\text{Tr}) = \frac{[\Sigma(\text{Total de cada tratamiento}^2)]}{[\text{Número de respuestas por tratamiento}]} - FC$$

(Ecuación No. 36)

Donde:

SC(Tr) = Suma de los cuadrados de los tratamientos
FC = Factor de corrección

7.4. Suma de los cuadrados de los panelistas

$$SC(P) = \frac{[\Sigma(\text{Total de cada panelista}^2)]}{[\text{Número de respuestas por panelista}] - FC}$$

(Ecuación No. 37)

Donde:

SC(P) = Suma de los cuadrados de los panelistas
FC = Factor de corrección

7.5. Suma de los cuadrados del error

$$SC(E) = SC(T) - SC(Tr) - SC(P)$$

(Ecuación No. 38)

Donde:

SC(E) = Suma de los cuadrados del error
SC(T) = Suma total de los cuadrados
SC(Tr) = Suma de los cuadrados de los tratamientos
SC(P) = Suma de los cuadrados de los panelistas

7.6. Total de grados de libertad

$$gl(T) = N - 1$$

(Ecuación No. 39)

Donde:

$gl(T)$ = Total de grados de libertad
 N = Número total de respuestas

7.7. Grados de libertad de los tratamientos

$$gl(Tr) = N_{Tr} - 1$$

(Ecuación No. 40)

Donde:

$gl(Tr)$ = Grados de libertad de los tratamientos
 N_{Tr} = Número de tratamientos

7.8. Grados de libertad de los panelistas

$$gl(P) = N_P - 1$$

(Ecuación No. 41)

Donde:

$gl(P)$ = Grados de libertad de los panelistas
 N_P = Número de panelistas

7.9. Grados de libertad de los errores

$$gl(E) = gl(T) - gl(Tr) - gl(P)$$

(Ecuación No. 42)

Donde:

$gl(E)$ = Grados de libertad de los errores
 $gl(T)$ = Total de grados de libertad

gl(Tr) = Grados de libertad de los tratamientos
gl(P) = Grados de libertad de los panelistas

7.10. Promedio de los cuadrados de los tratamientos

$$CM(Tr) = \frac{SC(Tr)}{gl(Tr)}$$

(Ecuación No. 43)

Donde:

CM(Tr) = Promedio de los cuadrados de los tratamientos
SC(Tr) = Suma de los cuadrados de los tratamientos
gl(Tr) = Grados de libertad de los tratamientos

7.11. Promedio de los cuadrados de los panelistas

$$CM(P) = \frac{SC(P)}{gl(P)}$$

(Ecuación No. 44)

Donde:

CM(P) = Promedio de los cuadrados de los panelistas
SC(P) = Suma de los cuadrados de los panelistas
gl(P) = Grados de libertad de los panelistas

7.12. Promedio de los cuadrados de los errores

$$CM(E) = \frac{SC(E)}{gl(E)}$$

(Ecuación No. 45)

Donde:

- CM(E) = Promedio de los cuadrados de los errores
- SC(E) = Suma de los cuadrados de los errores
- gl(E) = Grados de libertad de los errores

7.13. Distribución F calculada

$$F = \frac{CM_i}{CM(E)}$$

(Ecuación No. 46)

Donde:

- F = Distribución F calculada
- CM_i = Promedio de los cuadrados
- CM(E) = Promedio de los cuadrados de los errores

7.14. Amplitud

$$A = Q \sqrt{\frac{[CM(E)]}{t}}$$

(Ecuación No. 47)

Donde:

- A = Amplitud
- Q = Valores críticos prueba de Duncan
- CM(E) = Promedio de los cuadrados de los errores
- t = Número de respuestas individuales

Apéndice 3. Datos originales

1. Datos originales de la cuantificación de la clase de lípidos

Datos de las muestras iniciales

	Masa de la muestra (mg)
Harina de trigo	320.7
Polvo de moringa	521.9

2. Datos originales de la determinación de los ácidos grasos de los lípidos

Datos de las muestras iniciales

	Mezcla 1 Harina de trigo	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4	Mezcla 5 Polvo de moringa
Cantidad de Muestra (mg)	4	15.1	4.85	5.9	5.05
Concentración del Patrón (mM)	10				
Volumen de Patrón usado (µL)	20				
Cantidad de Patrón (mg)	0.0541				
Área del Patrón	26022.50	35871	33421.50	48825	44346

El patrón utilizado fue cis – 10 – heptadecenoato de metilo, C17:0

Concentración y tamaño del área de los ácidos grasos presentes en la solución patrón

No.	Ácido Graso	Concentración (%)	Área	
1	C4:0	Butirato de metilo	4	-
2	C6:0	Caproato de metilo	4	-
3	C8:0	Caprilato de metilo	4	126804
4	C10:0	Caproato de metilo	4	163126
5	C11:0	Undecanoato de metilo	2	100495
6	C12:0	Laurato de metilo	4	196514
7	C13:0	Tridecanoato de metilo	2	113147
8	C14:0	Miristato de metilo	4	247146
9	C14:1	Miristoleato de metilo	2	120852
10	C15:0	Pentadecanoato de metilo	2	142822
11	C15:1	cis-10-pentadecenoato de metilo	2	130266
12	C16:0	Palmitato de metilo	6	434427
13	C16:1	Palmitoleato de metilo	2	124076
14	C17:0	Heptadecanoato de metilo	2	143750
15	C17:1	cis-10-heptadecenoato de metilo	2	153896
16	C18:0	Estearato de metilo	4	378596
17	C18:1n9c	Oleato de metilo	6	505760
18	C18:1n9t	Elaidato de metilo	0	-
19	C18:2n6c	Linoleato de metilo	2	152472
20	C18:2n6t	Linoelaidato de metilo	2	155094
21	C18:3n6	Gamma-linoleato de metilo	2	120206
22	C18:3n3	Linolenato de metilo	2	128920
23	C20:0	Araquidato de metilo	4	545726
24	C20:1	cis-11-eicosenoato de metilo	2	240503
25	C20:2	cis-11,14-eicosadienoato de metilo	2	198830
26	C20:3n6	cis-8,11,14-eicosatrienoato de metilo	2	157988

27	C21:0	Heneicosanoato de metilo	2	340693
28	C20:3n3	cis-11,14,17-eicosatrienoato de metilo	2	154941
29	C20:4n6	Araquidonato de metilo	2	175788
30	C20:5n3	cis-5,8,11,14,17-eicosapentaenoato de metilo	2	160302
31	C22:0	Behenato de metilo	4	851487
32	C22:1	Eruciato de metilo	2	375206
33	C22:2	cis-13,16-docosadienoato de metilo	2	311810
34	C23:0	Tricosanoato de metilo	2	517251
35	C24:0	Lignocerato de metilo	4	1.15E+09
36	C22:6n3	cis-4,7,10,13,16,19-docosahexaenoato de metilo	2	133893
37	C24:1	Nervonato de metilo	2	569582

Ácidos grasos y tamaño de área presentes en la harina de trigo

Ácido graso		Área
C16:0	Palmitato de metilo	288338
C18:0	Estearato de metilo	30421
C18:1n9c	Oleato de metilo	207319
C18:2n6c	Linoleato de metilo	876013
C18:3n3	Linolenato de metilo	52722
C20:0	Araquidato de metilo	10997
C20:1	cis-11-eicosenoato de metilo	18979
C22:0	Behenato de metilo	10834

Ácidos grasos y tamaño de área presentes en la mezcla 2

Ácido graso		Área
C14:0	Miristato de metilo	9110
C16:0	Palmitato de metilo	115983
C16:1	Palmitoleato de metilo	3115
C18:0	Estearato de metilo	3719
C18:1n9c	Oleato de metilo	74365
C18:2n6c	Linoleato de metilo	185093
C18:3n3	Linolenato de metilo	76191
C20:0	Araquidato de metilo	6744
C22:0	Behenato de metilo	15315
C24:0	Lignocerato de metilo	22340

Ácidos grasos y tamaño de área presentes en la mezcla 3

Ácido graso		Área
C12:0	Laurato de metilo	2295
C14:0	Miristato de metilo	15032
C16:0	Palmitato de metilo	147828
C16:1	Palmitoleato de metilo	13221
C18:0	Estearato de metilo	24465
C18:1n9c	Oleato de metilo	54647
C18:2n6c	Linoleato de metilo	161316
C18:3n3	Linolenato de metilo	120984
C20:0	Araquidato de metilo	12590
C22:0	Behenato de metilo	39090
C24:0	Lignocerato de metilo	34687

Ácidos grasos y tamaño de área presentes en la mezcla 4

Ácido graso		Área
C12:0	Laurato de metilo	4272
C14:0	Miristato de metilo	14580
C16:0	Palmitato de metilo	111285
C16:1	Palmitoleato de metilo	12116
C18:0	Estearato de metilo	19157
C18:1n9c	Oleato de metilo	37580
C18:2n6c	Linoleato de metilo	85457
C18:3n3	Linolenato de metilo	112247
C20:0	Araquidato de metilo	6018
C22:0	Behenato de metilo	39570
C24:0	Lignocerato de metilo	28183

Ácidos grasos y tamaño de área presentes en el polvo de moringa

Ácido graso		Área
C12:0	Laurato de metilo	6002
C14:0	Miristato de metilo	69355
C16:0	Palmitato de metilo	459670
C18:0	Estearato de metilo	90755
C18:1n9c	Oleato de metilo	107636
C18:2n6c	Linoleato de metilo	163622
C18:3n3	Linolenato de metilo	497143
C20:1	cis-11-eicosenoato de metilo	40477
C22:0	Behenato de metilo	75391
C24:0	Lignocerato de metilo	120953

3. Datos originales de la determinación de azúcares y ácidos grasos

Datos de las muestras iniciales

	Masa de la muestra (g)
Harina de trigo	5.75
Mezcla 2	5.80
Mezcla 3	5.30
Mezcla 4	5.30
Polvo de moringa	6.55
Patrón	200 µL

4. Datos originales de la determinación de la fibra alimentaria

Datos de las muestras iniciales

	Muestra a desgrasar (g)	Muestra extraída con etanol 70% (g)	Muestra extraída con agua (g)
Harina de trigo	10.1105	2.0265	0.4049
Mezcla 2	5.1309	2.0650	0.4020
Mezcla 3	5.1340	2.1117	0.4072
Mezcla 4	5.2085	1.9945	0.4050
Polvo de moringa	10.1250	2.0182	0.4012

Datos de la fibra alimentaria soluble

	Residuo A' (mg)	Residuo B' (mg)	Almidón soluble (mg)
Harina de trigo	207.20	190.40	0.0094
Mezcla 2	190.90	125.30	0.0049
Mezcla 3	177.80	138.40	0.0067
Mezcla 4	149.00	119.50	0.0076
Polvo de moringa	152.20	112.20	0.0057

Datos de la fibra alimentaria insoluble

	Residuo A (mg)	Residuo B (mg)	Almidón insoluble (mg)
Harina de trigo	305.60	250.10	0.0304
Mezcla 2	292.30	201.20	0.0310
Mezcla 3	279.70	187.80	0.0228
Mezcla 4	269.40	159.50	0.0248
Polvo de moringa	260.10	170.50	0.0292

5. Datos originales de la determinación de proteínas

Datos de la estandarización de la solución básica

V NaOH (mL)	Moles NaOH (mol)	Ftalato Ácido de Potasio (g)	V NaOH Real (mL)	Moles de Ftalato Ácido de Potasio (g)
40.0000	0.0040	0.8169	39.2500	0.0040

Datos de la estandarización de la solución ácida

V H ₂ SO ₄ (mL)	C NaOH Real (N)	V NaOH Real (mL)
30.0000	0.1019	28.4500

Datos de la valoración del amoniaco

	Muestra (g)	C H ₂ SO ₄ (N)	V H ₂ SO ₄ (mL)	C NaOH (N)	V NaOH (mL)
Harina de trigo	0.2054	0.0966	25	0.1019	21.55
Mezcla 2	0.2058				20.65
Mezcla 3	0.2040				20
Mezcla 4	0.2059				19.20
Polvo de moringa	0.2094				18.63

6. Datos originales de la determinación de los azúcares totales

Datos de la curva de calibración de glucosa

Concentración glucosa (mg/L)	Absorbancia
400.00	2.2362
200.00	1.0032
100.00	0.4537
50.00	0.2141
25.00	0.0725
12.50	0.0275

Datos de la medición de absorbancia de las muestras

	Absorbancia
Harina de trigo	2.9579
Mezcla 2	2.2030
Mezcla 3	2.4010
Mezcla 4	2.8351
Polvo de moringa	3.0222

7. Datos originales de la determinación de los azúcares reductores

Datos de la curva de calibración de glucosa

Concentración glucosa (mg/L)	Absorbancia
400.00	1.1082
200.00	0.4250
100.00	0.2256
50.00	0.0642
25.00	0.0092
12.50	0.0009

Datos de la medición de absorbancia de las muestras

	Absorbancia
Harina de trigo	0.3085
Mezcla 2	0.1281
Mezcla 3	0.2007
Mezcla 4	0.2338
Polvo de moringa	0.1575

8. Datos originales de los azúcares como acetatos de alditol

Datos de las muestras originales

	Masa de la muestra (g)
Harina de trigo	9.85
Mezcla 2	12.80
Mezcla 3	10.15
Mezcla 4	10.55
Polvo de moringa	10.55

Datos de los azúcares presentes en la solución patrón

No.	Tiempo de Retención (min)	Compuesto	Área
1	7.28	Ramnosa	497042
2	7.73	Fucosa	356467
3	8.32	Ribosa	372823
4	8.87	Arabinosa	435735
5	9.51	Xilosa	348279
6	14.45	Manosa	732159
7	14.62	Myo-inositol	718213
8	15.27	Glucosa	632276
9	15.49	Galactosa	750639

Datos de los azúcares presentes en la harina de trigo

No.	Tiempo de Retención del Estándar (min)	Tiempo de Retención de la Muestra (min)	Compuesto	Área
1	8.87	8.80	Arabinosa	54117
2	9.51	9.44	Xilosa	65592
3	14.45	14.46	Manosa	441922.5
4	15.27	15.15	Glucosa	4726500

Datos de los azúcares presentes en la mezcla 2

No.	Tiempo de Retención del Estándar (min)	Tiempo de Retención de la Muestra (min)	Compuesto	Área
1	7.28	7.20	Ramnosa	44858
2	8.87	8.77	Arabinosa	75311
3	9.51	9.41	Xilosa	65245
4	14.45	14.41	Manosa	369719
5	15.27	15.10	Glucosa	4096000
6	15.49	15.29	Galactosa	109966

Datos de los azúcares presentes en la mezcla 3

No.	Tiempo de Retención del Estándar (min)	Tiempo de Retención de la Muestra (min)	Compuesto	Área
1	7.28	7.21	Ramnosa	87068.5
2	8.87	8.79	Arabinosa	112204.5
3	9.51	9.42	Xilosa	78883
4	14.45	14.44	Manosa	610887
5	15.27	15.12	Glucosa	3882500
6	15.49	15.32	Galactosa	207641.5

Datos de los azúcares presentes en la mezcla 4

No.	Tiempo de Retención del Estándar (min)	Tiempo de Retención de la Muestra (min)	Compuesto	Área
1	7.28	7.21	Ramnosa	149691
2	8.87	8.79	Arabinosa	157986
3	9.51	9.42	Xilosa	95090
4	14.45	14.45	Manosa	751030.5
5	15.27	15.12	Glucosa	3359000
6	15.49	15.32	Galactosa	371215

Datos de los azúcares presentes en el polvo de moringa

No.	Tiempo de Retención del Estándar (min)	Tiempo de Retención de la Muestra (min)	Compuesto	Área
1	7.28	7.22	Ramnosa	108534.5
2	8.87	8.79	Arabinosa	95081.5
3	11.98	12.03	Xilosa	144476.5
4	14.86	14.78	Manosa	379744.5
5	15.38	15.22	Glucosa	347080.5
6	15.49	15.33	Galactosa	173347.5

9. Datos originales de la determinación de la evaluación descriptiva

Clasificación de los datos de la encuesta realizada sobre las cinco mezclas

Descripción	Valor	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4	Mezcla 5
Me gusta muchísimo	4	1	2	1	3	0
Me gusta mucho	3	7	2	2	7	0
Me gusta moderadamente	2	1	2	6	0	1
Me gusta un poco	1	0	1	1	0	3
Me es indiferente	0	1	2	0	0	2
Me disgusta un poco	-1	0	1	0	0	4
Me disgusta moderadamente	-2	0	0	0	0	0
Me disgusta mucho	-3	0	0	0	0	0
Me disgusta muchísimo	-4	0	0	0	0	0

Apéndice 4. Datos calculados

1. Datos calculados de la cuantificación de la clase de lípidos

Cuantificación de los lípidos presentes en las muestras

	Masa de los lípidos presentes en la muestra (mg)
Harina de trigo	3.91
Polvo de moringa	12.00

2. Datos calculados de los ácidos grasos como lípidos

Determinación de los factores de respuesta de la solución patrón

No.	Ácido Graso		RF _{C17:0}
1	C4:0	Butirato de metilo	-
2	C6:0	Caproato de metilo	-
3	C8:0	Caprilato de metilo	2.2673
4	C10:0	Caproato de metilo	1.7624
5	C11:0	Undecanoato de metilo	1.4304
6	C12:0	Laurato de metilo	1.4630
7	C13:0	Tridecanoato de metilo	1.2705
8	C14:0	Miristato de metilo	1.1633
9	C14:1	Miristoleato de metilo	1.1895
10	C15:0	Pentadecanoato de metilo	1.0065
11	C15:1	cis-10-pentadecenoato de metilo	1.1035
12	C16:0	Palmitato de metilo	0.9927
13	C16:1	Palmitoleato de metilo	1.1586
14	C17:0	Heptadecanoato de metilo	1.0000
15	C17:1	cis-10-heptadecenoato de metilo	0.9341
16	C18:0	Estearato de metilo	0.7594
17	C18:1n9c	Oleato de metilo	0.8527
18	C18:1n9t	Elaidato de metilo	-
19	C18:2n6c	Linoleato de metilo	0.9428
20	C18:2n6t	Linoelaidato de metilo	0.9269
21	C18:3n6	Gamma-linoleato de metilo	1.1959
22	C18:3n3	Linolenato de metilo	1.1150
23	C20:0	Araquidato de metilo	0.5268
24	C20:1	cis-11-eicosenoato de metilo	0.5977
25	C20:2	cis-11,14-eicosadienoato de metilo	0.7230
26	C20:3n6	cis-8,11,14-eicosatrienoato de metilo	0.9099

27	C21:0	Heneicosanoato de metilo	0.4219
28	C20:3n3	cis-11,14,17-eicosatrienoato de metilo	0.9278
29	C20:4n6	Araquidonato de metilo	0.8177
30	C20:5n3	cis-5,8,11,14,17-eicosapentaenoato de metilo	0.8967
31	C22:0	Behenato de metilo	0.3376
32	C22:1	Eruciato de metilo	0.3831
33	C22:2	cis-13,16-docosadienoato de metilo	0.4610
34	C23:0	Tricosanoato de metilo	0.2779
35	C24:0	Lignocerato de metilo	0.0003
36	C22:6n3	cis-4,7,10,13,16,19-docosahexaenoato de metilo	1.0736
37	C24:1	Nervonato de metilo	0.2524

Determinación de los factores de respuesta y concentraciones de la harina de trigo

Ácido graso		Factor de Respuesta (RF C17:0)	Masa presente en la muestra (mg)	Porcentaje sobre la masa total presente (%)	Porcentaje en masa en la muestra (%)
C16:0	Palmitato de metilo	0.9927	0.5585	20.67	13.96
C18:0	Estearato de metilo	0.7594	0.0609	2.25	1.52
C18:1n9c	Oleato de metilo	0.8527	0.3362	12.44	8.40
C18:2n6c	Linoleato de metilo	0.9428	1.5784	58.42	39.46
C18:3n3	Linolenato de metilo	1.1150	0.1127	4.17	2.82
C20:0	Araquidato de metilo	0.5268	0.0149	0.55	0.37
C20:1	cis-11-eicosenoato de metilo	0.5977	0.0305	1.13	0.76
C22:0	Behenato de metilo	0.3376	0.0097	0.36	0.24
Totales			2.7018	100.00	67.5462

Determinación de los factores de respuesta y concentraciones del polvo de Mezcla 2

Ácido graso		Factor de Respuesta (RF C17:0)	Masa presente en la muestra (mg)	Porcentaje sobre la masa total presente (%)	Porcentaje en masa en la muestra (%)
C14:0	Miristato de metilo	1.1633	0.0172	2.29	0.35
C16:0	Palmitato de metilo	0.9927	0.1867	24.80	3.84
C16:1	Palmitoleato de metilo	1.1586	0.0058	0.78	0.12
C18:0	Estearato de metilo	0.7594	0.0046	0.61	0.09
C18:1n9c	Oleato de metilo	0.8527	0.1022	13.81	2.12
C18:2n6c	Linoleato de metilo	0.9428	0.2832	37.54	5.82
C18:3n3	Linolenato de metilo	1.1150	0.1379	18.28	2.84
C20:0	Araquidato de metilo	0.5268	0.0057	0.77	0.12
C22:0	Behenato de metilo	0.3376	0.0084	1.12	0.17
C24:0	Lignocerato de metilo	0.0003	0.0000	0.00	0.00
Totales			0.7517	100.00	15.48

Determinación de los factores de respuesta y concentraciones de la mezcla 3

Ácido graso		Factor de Respuesta (RF C17:0)	Masa presente en la muestra (mg)	Porcentaje sobre la masa total presente (%)	Porcentaje en masa en la muestra (%)
C12:0	Laurato de metilo	1.4630	0.0037	0.60	0.06
C14:0	Miristato de metilo	1.1633	0.0195	3.15	0.33
C16:0	Palmitato de metilo	0.9927	0.1635	26.46	2.77
C16:1	Palmitoleato de metilo	1.1586	0.0172	2.77	0.29
C18:0	Estearato de metilo	0.7594	0.0207	3.35	0.35
C18:1n9c	Oleato de metilo	0.8527	0.0520	8.41	0.88
C18:2n6c	Linoleato de metilo	0.9428	0.1694	27.42	2.87
C18:3n3	Linolenato de metilo	1.1150	0.1498	24.29	2.54
C20:0	Araquidato de metilo	0.5268	0.0072	1.18	0.12
C22:0	Behenato de metilo	0.3376	0.0145	2.36	0.25
C24:0	Lignocerato de metilo	0.0003	0.0000	0.00	0.00
Totales			0.6175	100.00	10.47

Determinación de los factores de respuesta y concentraciones de la mezcla 4

Ácido graso		Factor de Respuesta (RF C17:0)	Masa presente en la muestra (mg)	Porcentaje sobre la masa total presente (%)	Porcentaje en masa en la muestra (%)
C12:0	Laurato de metilo	1.4630	0.0076	1.50	0.15
C14:0	Miristato de metilo	1.1633	0.0208	4.07	0.41
C16:0	Palmitato de metilo	0.9927	0.1350	26.56	2.68
C16:1	Palmitoleato de metilo	1.1586	0.0173	3.37	0.34
C18:0	Estearato de metilo	0.7594	0.0179	3.49	0.35
C18:1n9c	Oleato de metilo	0.8527	0.0393	7.69	0.78
C18:2n6c	Linoleato de metilo	0.9428	0.0988	19.34	1.95
C18:3n3	Linolenato de metilo	1.1150	0.1538	30.01	3.03
C20:0	Araquidato de metilo	0.5268	0.0039	0.76	0.08
C22:0	Behenato de metilo	0.3376	0.0164	3.21	0.32
C24:0	Lignocerato de metilo	0.0003	0.0000	0.00	0.00
Totales			0.5107	100.00	10.09

Determinación de los factores de respuesta y concentraciones del polvo de moringa

Ácido graso		Factor de Respuesta (RF C17:0)	Masa presente en la muestra (mg)	Porcentaje sobre la masa total presente (%)	Porcentaje en masa en la muestra (%)
C12:0	Laurato de metilo	1.4630	0.0132	0.60	0.09
C14:0	Miristato de metilo	1.1633	0.1217	5.51	0.81
C16:0	Palmitato de metilo	0.9927	0.6881	31.15	4.56
C18:0	Estearato de metilo	0.7594	0.1039	4.70	0.69
C18:1n9c	Oleato de metilo	0.8527	0.1384	6.27	0.92
C18:2n6c	Linoleato de metilo	0.9428	0.2326	10.53	1.54
C18:3n3	Linolenato de metilo	1.1150	0.8359	37.85	5.54
C20:1	cis-11-eicosenoato de metilo	0.5977	0.0365	1.65	0.24
C22:0	Behenato de metilo	0.3376	0.0384	1.74	0.25
C24:0	Lignocerato de metilo	0.0003	0.0000	0.00	0.00
Totales			2.2088	100.00	14.63

3. Datos calculados de la determinación de la fibra alimentaria

Determinación de los componentes de la fibra alimentaria

	GMP (mg)	Hemicelulosa (mg)	Residuo C (mg)	Celulosa (mg)	Lignina (mg)
Harina de trigo	16.79	25.05	24.70	225.40	24.70
Mezcla 2	65.65	68.30	25.05	176.10	25.05
Mezcla 3	39.39	67.10	43.95	143.85	43.95
Mezcla 4	29.49	80.70	53.25	106.25	53.25
Polvo de moringa	39.94	58.60	41.55	128.95	41.55

4. Datos calculados de la determinación de proteínas

Determinación de la concentración de la solución ácida y básica

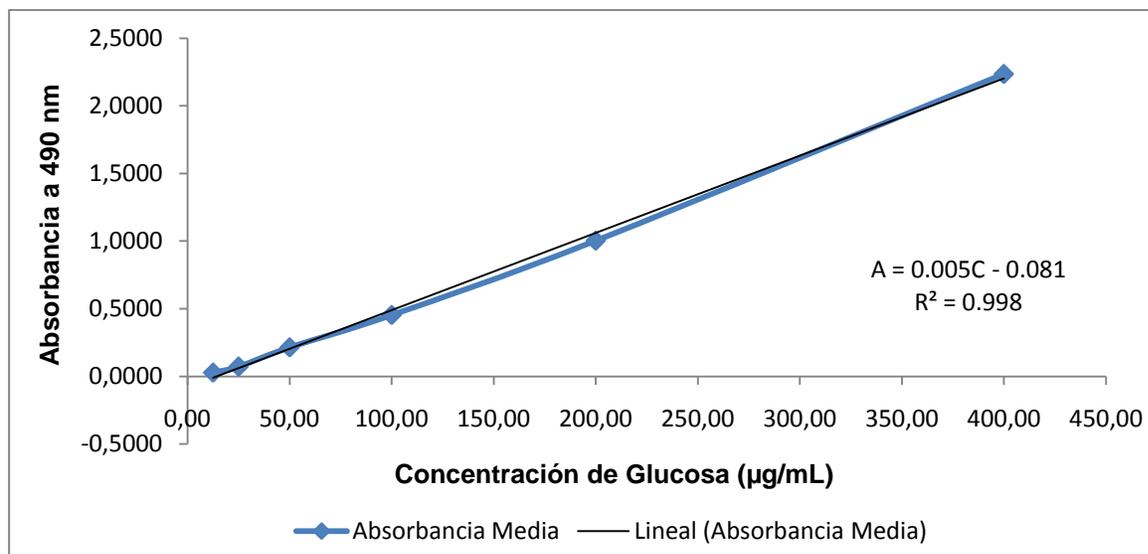
	Concentración (N)
Solución ácida (H ₂ SO ₄)	0.0966
Solución básica (NaOH)	0.1019

Determinación de las proteínas en la muestra

	Porcentaje de Proteínas en la muestra (%)	Proteínas en la muestra (mg)
Harina de trigo	9.37	19.25
Mezcla 2	13.26	27.27
Mezcla 3	16.13	33.07
Mezcla 4	19.06	39.31
Polvo de moringa	21.65	45.33

5. Datos calculados de la determinación de los azúcares totales

Curva de calibración del método fenol - sulfúrico

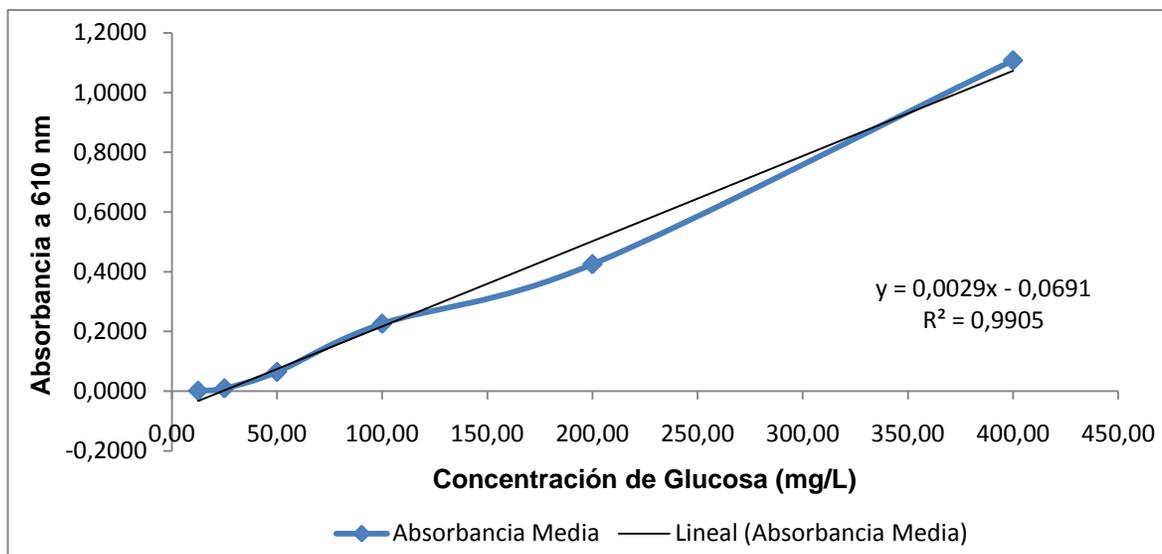


Determinación de la concentración de glucosa como azúcares totales

	Concentración de Glucosa, Azúcares Totales (mg/L)
Harina de trigo	607.77
Mezcla 2	456.79
Mezcla 3	496.40
Mezcla 4	583.22
Polvo de moringa	620.63

6. Datos calculados de la determinación de los azúcares reductores

Curva de calibración del método Somogyi – Nelson



Determinación de la concentración de glucosa como azúcares reductores

	Concentración de Glucosa, Azúcares Reductores (mg/L)
Harina de trigo	188.75
Mezcla 2	98.55
Mezcla 3	134.85
Mezcla 4	151.40
Polvo de moringa	113.25

7. Datos calculados de la determinación de azúcares como acetatos de alditol

Determinación de los factores de respuesta de la solución patrón

No.	Compuesto	RF_{Myo - Inositol}
1	Ramnosa	0.6921
2	Fucosa	0.4963
3	Ribosa	0.5191
4	Arabinosa	0.6067
5	Xilosa	0.4849
6	Manosa	1.0194
7	Myo-inositol	1.0000
8	Glucosa	0.8803
9	Galactosa	1.0451

Determinación del porcentaje en masa de los azúcares presentes en la harina de trigo

No.	Compuesto	RF_{Myo – Inositol}	Azúcar Total (%)	Masa (µg)	Masa (mg)	Peso (%)
1	Arabinosa	0.6067	1.48	62.0985	0.0621	0.63
2	Xilosa	0.4849	2.24	94.1659	0.0942	0.96
3	Manosa	1.0194	7.19	301.7941	0.3018	3.06
4	Glucosa	0.8803	89.08	3737.6873	3.7377	37.95
Total			100.00	4195.7458	4.1957	

Determinación del porcentaje en masa de los azúcares presentes en la mezcla 2

No.	Compuesto	RF_{Myo – Inositol}	Azúcar Total (%)	Masa (µg)	Masa (mg)	Peso (%)
1	Ramnosa	0.6921	1.17	45.1250	0.0451	0.35
2	Arabinosa	0.6067	2.24	86.4184	0.0864	0.68
3	Xilosa	0.4849	2.43	93.6677	0.0937	0.73
4	Manosa	1.0194	6.45	248.7264	0.2487	1.94
5	Glucosa	0.8803	85.81	3309.4724	3.3095	25.86
6	Galactosa	1.0451	1.90	73.2483	0.0732	0.57
Total			100.00	3856.66	3.86	

Determinación del porcentaje en masa de los azúcares presentes en la mezcla 3

No.	Compuesto	RF_{Myo – Inositol}	Azúcar Total (%)	Masa (µg)	Masa (mg)	Peso (%)
1	Ramnosa	0.6921	2.21	87.5867	0.0876	0.86
2	Arabinosa	0.6067	3.26	128.7531	0.1288	1.27
3	Xilosa	0.4849	2.86	113.2469	0.1132	1.12
4	Manosa	1.0194	10.55	417.1819	0.4172	4.11
5	Glucosa	0.8803	77.62	3070.2573	3.0703	30.25
6	Galactosa	1.0451	3.50	138.3098	0.1383	1.36
Total			100.00	3955.34	3.96	

Determinación del porcentaje en masa de los azúcares presentes en la mezcla 4

No.	Compuesto	RF_{Myo – Inositol}	Azúcar Total (%)	Masa (µg)	Masa (mg)	Peso (%)
1	Ramnosa	0.6921	3.88	150.5818	0.1506	1.43
2	Arabinosa	0.6067	4.67	181.2868	0.1813	1.72
3	Xilosa	0.4849	3.51	136.5141	0.1365	1.29
4	Manosa	1.0194	13.20	512.8876	0.5129	4.86
5	Glucosa	0.8803	68.38	2656.2767	2.6563	25.18
6	Galactosa	1.0451	6.36	247.2660	0.2473	2.34
Total			100.00	3884.81	3.88	

Determinación del porcentaje en masa de los azúcares presentes en el polvo de moringa

No.	Compuesto	RF_{Myo – Inositol}	Azúcar Total (%)	Masa (µg)	Masa (mg)	Peso (%)
1	Ramnosa	0.6921	10.99	109.1804	0.1092	1.03
2	Arabinosa	0.6067	10.98	109.1047	0.1091	1.03
3	Xilosa	0.4849	12.41	123.3512	0.1234	1.17
4	Manosa	1.0194	27.34	271.6932	0.2717	2.58
5	Glucosa	0.8803	26.67	265.0435	0.2650	2.51
6	Galactosa	1.0451	11.62	115.4666	0.1155	1.09
Total			100.00	993.84	0.99	

8. Datos calculados de la evaluación descriptiva

Determinación de los porcentajes de la tabulación de la encuesta realizada sobre las cinco mezclas

Descripción	Valor	Mezcla 1 (%)	Mezcla 2 (%)	Mezcla 3 (%)	Mezcla 4 (%)	Mezcla 5 (%)
Me gusta muchísimo	9	10	20	10	30	0
Me gusta mucho	8	70	20	20	70	0
Me gusta moderadamente	7	10	20	60	0	10
Me gusta un poco	6	0	10	10	0	30
Me es indiferente	5	10	20	0	0	20
Me disgusta un poco	4	0	10	0	0	40
Me disgusta moderadamente	3	0	0	0	0	0
Me disgusta mucho	2	0	0	0	0	0
Me disgusta muchísimo	1	0	0	0	0	0

Puntajes de categorías tabuladas para la Prueba Hedónica

Panelista	Galleta					Total de los panelistas	Media de los panelistas
	Mezcla 1	Mezcla 2	Mezcla 3	Mezcla 4	Mezcla 5		
1	9	7	8	8	6	38	7.60
2	8	6	7	9	4	34	6.80
3	7	8	8	9	6	38	7.60
4	8	9	7	8	4	36	7.20
5	8	5	7	8	4	32	6.40
6	5	5	9	8	5	32	6.40
7	8	8	7	8	5	36	7.20
8	8	4	7	9	4	32	6.40
9	8	9	7	8	7	39	7.80
10	8	7	5	8	6	34	6.80
Total de tratamientos	77	68	72	83	51	351	
Media de los tratamientos	7.70	6.80	7.20	8.30	5.10		

Análisis de varianza para la Prueba Hedónica

Fuente de Variación	Grados de libertad, GL	Suma de los cuadrados, SC	Promedio de los cuadrados, CM	Relación F	
				Calculada	Tabular ($p \leq 0.05$)
Total (T)	49	118.98	-	-	-
Tratamiento (Tr)	4	58.68	14.67	11.16	2.64
Panelista (P)	9	12.98	1.44	1.10	2.16
Error (E)	36	47.32	1.31	-	-

284

Prueba de comparación múltiple (Nueva prueba de amplitud múltiple de Duncan)

Mezclas	4	1	3	2	5
Medias de los tratamientos	8.30	7.70	7.20	6.80	5.10

Comparaciones entre medias

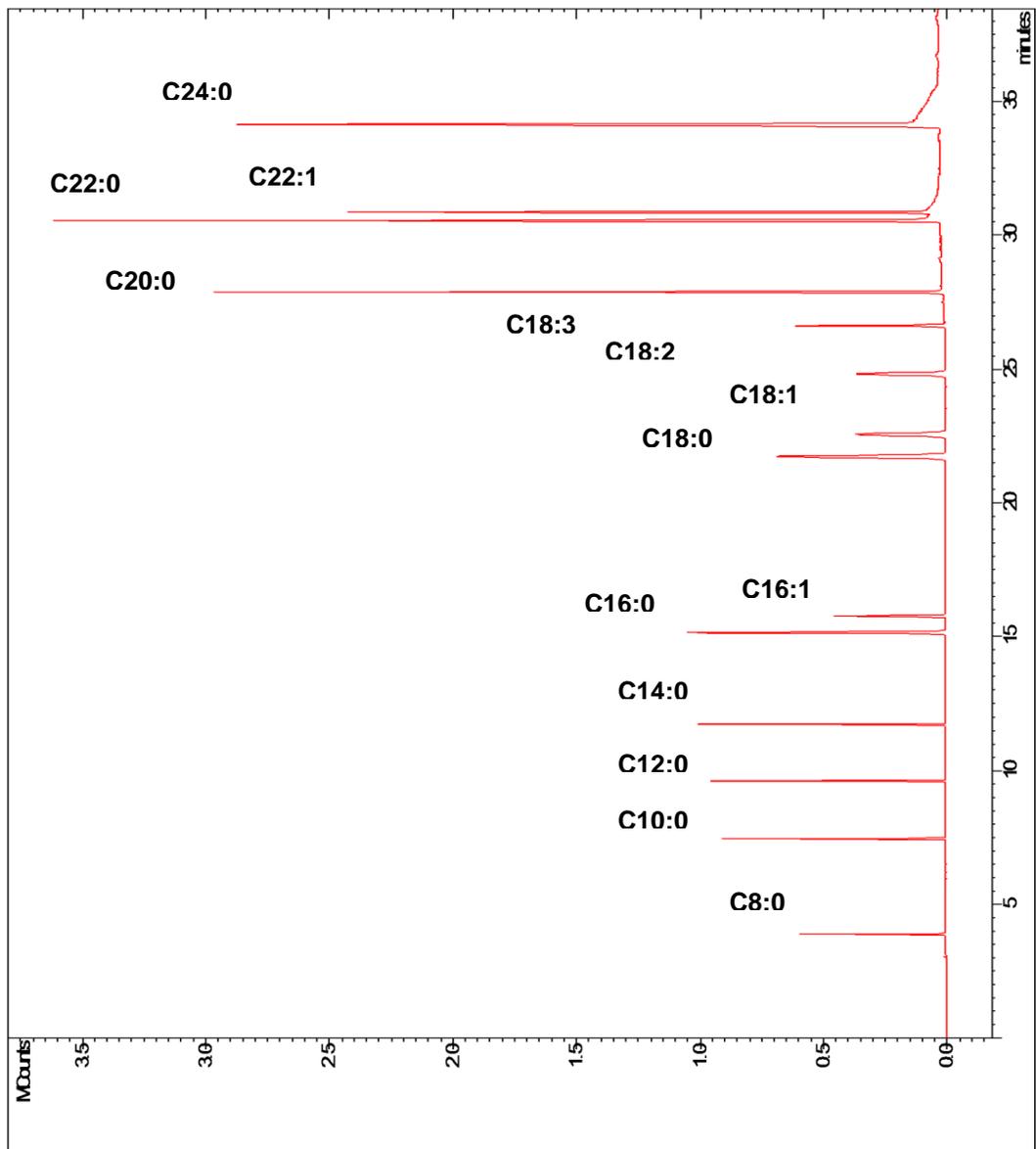
		Medias	Diferencia de las medias	Amplitud	Descripción	Conclusión
Mezcla 4 - Mezcla 5	Mezcla 4	8.30	3.20	1.09	3.20 > 1.09	Medias significativamente diferentes
	Mezcla 5	5.10				
Mezcla 4 - Mezcla 2	Mezcla 4	8.30	1.50	1.04	1.50 > 1.04	Media ligeramente mayor a la amplitud
	Mezcla 2	6.80				
Mezcla 4 - Mezcla 3	Mezcla 4	8.30	1.10	1.04	1.10 > 1.04	Media ligeramente mayor a la amplitud
	Mezcla 3	7.20				
Mezcla 4 - Mezcla 1	Mezcla 4	8.30	0.60	1.04	0.60 < 1.04	Media menor a la amplitud
	Mezcla 1	7.70				
Mezcla 1 - Mezcla 5	Mezcla 1	7.70	2.60	1.09	2.60 > 1.09	Medias significativamente diferentes
	Mezcla 5	5.10				
Mezcla 1 - Mezcla 2	Mezcla 1	7.70	0.90	1.04	0.90 < 1.04	Media menor a la amplitud
	Mezcla 2	6.80				
Mezcla 1 - Mezcla 3	Mezcla 1	7.70	0.50	1.04	0.50 < 1.04	Media menor a la amplitud
	Mezcla 3	7.20				
Mezcla 1 - Mezcla 4	Mezcla 1	7.70	0.60	1.04	0.60 < 1.04	Media menor a la amplitud
	Mezcla 4	8.30				
Mezcla 3 - Mezcla 5	Mezcla 3	7.20	2.10	1.04	2.10 > 1.04	Medias significativamente diferentes
	Mezcla 5	5.10				
Mezcla 3 - Mezcla 2	Mezcla 3	7.20	0.40	1.04	0.40 < 1.04	Media menor a la amplitud
	Mezcla 2	6.80				
Mezcla 3 - Mezcla 4	Mezcla 3	7.20	1.10	1.04	1.10 > 1.04	Media ligeramente mayor a la amplitud
	Mezcla 4	8.30				

Mezcla 3 - Mezcla 1	Mezcla 3	7.20	0.50	1.04	0.50 < 1.04	Media menor a la amplitud
	Mezcla 1	7.70				
Mezcla 2 - Mezcla 5	Mezcla 2	6.80	1.70	1.04	1.70 > 1.04	Media ligeramente mayor a la amplitud
	Mezcla 5	5.10				
Mezcla 2 - Mezcla 4	Mezcla 2	6.80	1.50	1.04	1.50 > 1.04	Media ligeramente mayor a la amplitud
	Mezcla 4	8.30				
Mezcla 2 - Mezcla 3	Mezcla 2	6.80	0.40	1.04	0.40 < 1.04	Media menor a la amplitud
	Mezcla 3	7.20				
Mezcla 2 - Mezcla 1	Mezcla 2	6.80	0.90	1.04	0.90 < 1.04	Media menor a la amplitud
	Mezcla 1	7.70				
Mezcla 5 - Mezcla 4	Mezcla 5	5.10	3.20	1.09	3.20 > 1.09	Medias significativamente diferentes
	Mezcla 4	8.30				
Mezcla 5 - Mezcla 2	Mezcla 5	5.10	1.70	1.04	1.70 > 1.04	Media ligeramente mayor a la amplitud
	Mezcla 2	6.80				
Mezcla 5 - Mezcla 3	Mezcla 5	5.10	2.10	1.04	2.10 > 1.04	Media ligeramente mayor a la amplitud
	Mezcla 3	7.20				
Mezcla 5 - Mezcla 1	Mezcla 5	5.10	2.60	1.04	2.60 > 1.04	Media ligeramente mayor a la amplitud
	Mezcla 1	7.70				

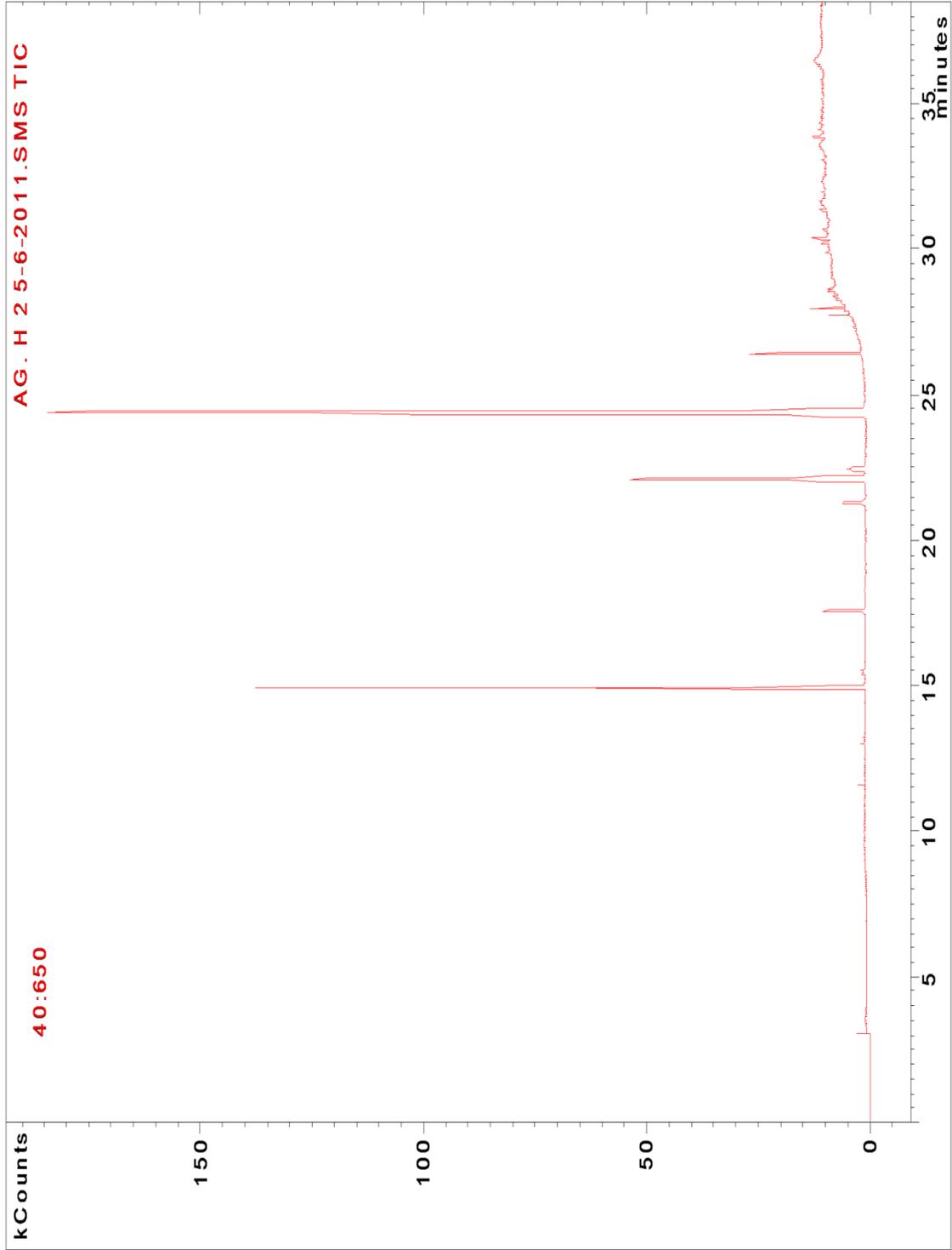
Apéndice 5. Cromatogramas

1. Cromatogramas de los ácidos grasos de los lípidos

Cromatograma de la mezcla de patrones de ácidos grasos



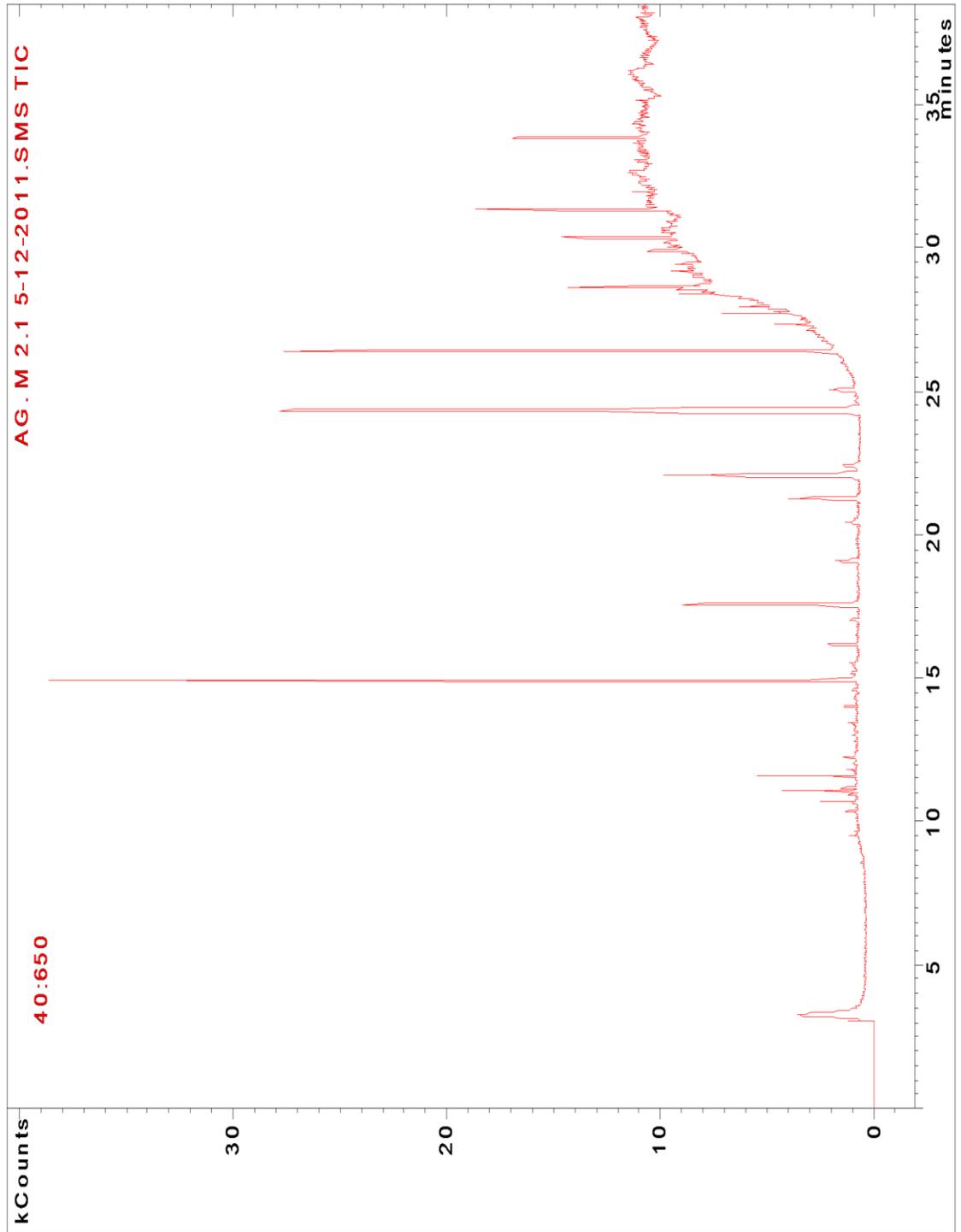
Cromatograma Mezcla 1: 100% Harina de Trigo – 0% Polvo de Moringa



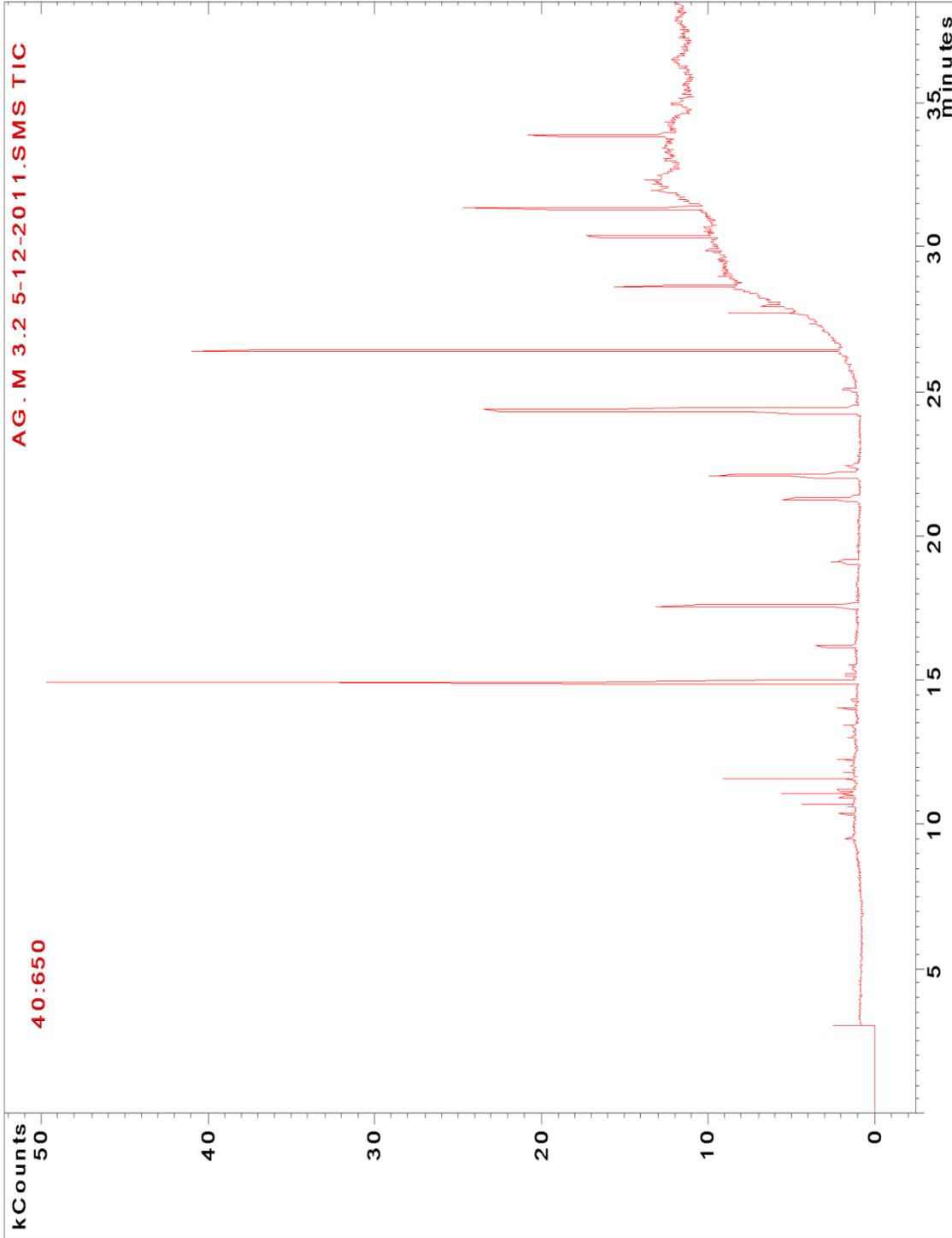
AG. H 2 5-6-2011.SMS TIC

40:650

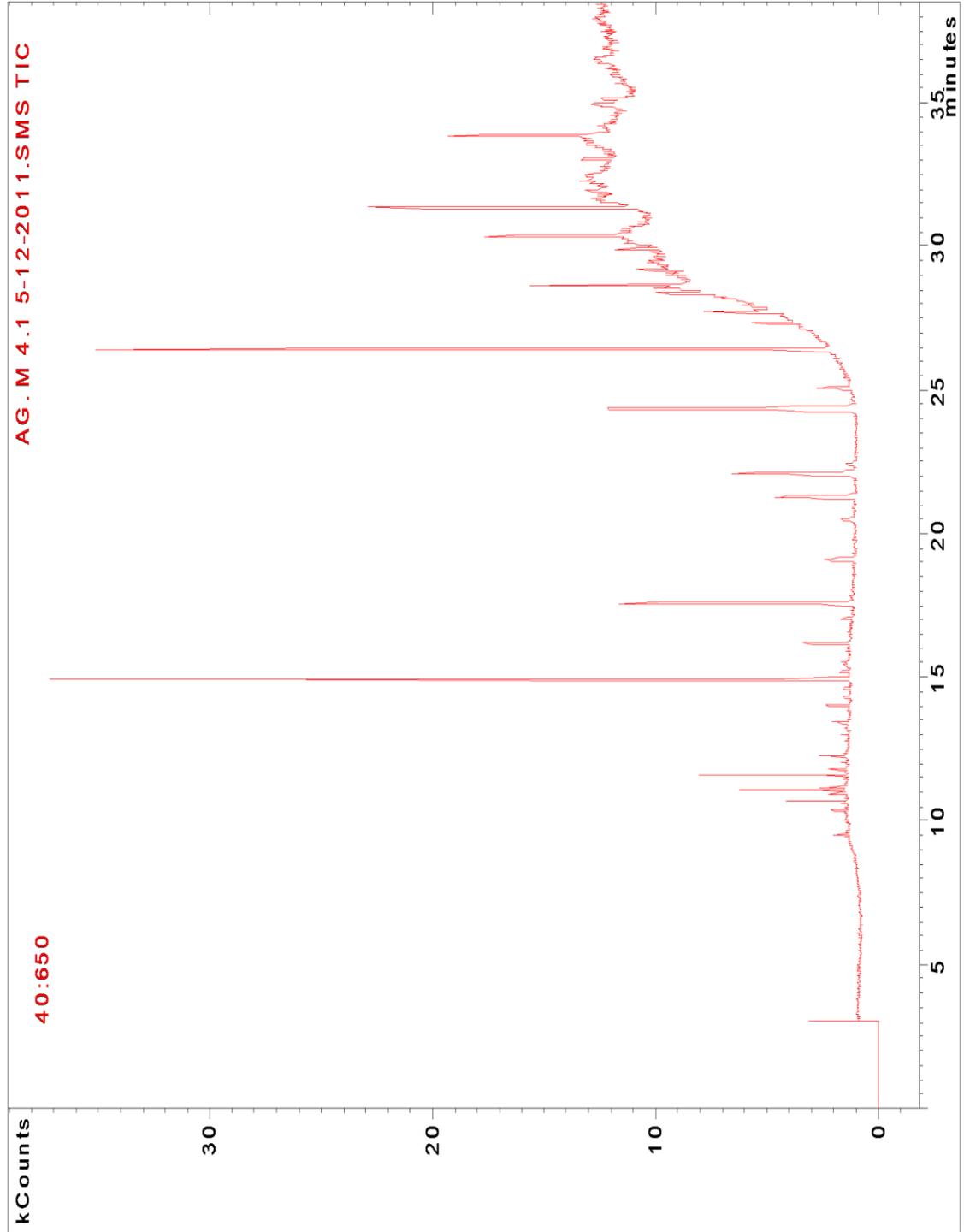
Cromatograma Mezcla 2: 70% Harina de Trigo – 30% Polvo de Moringa



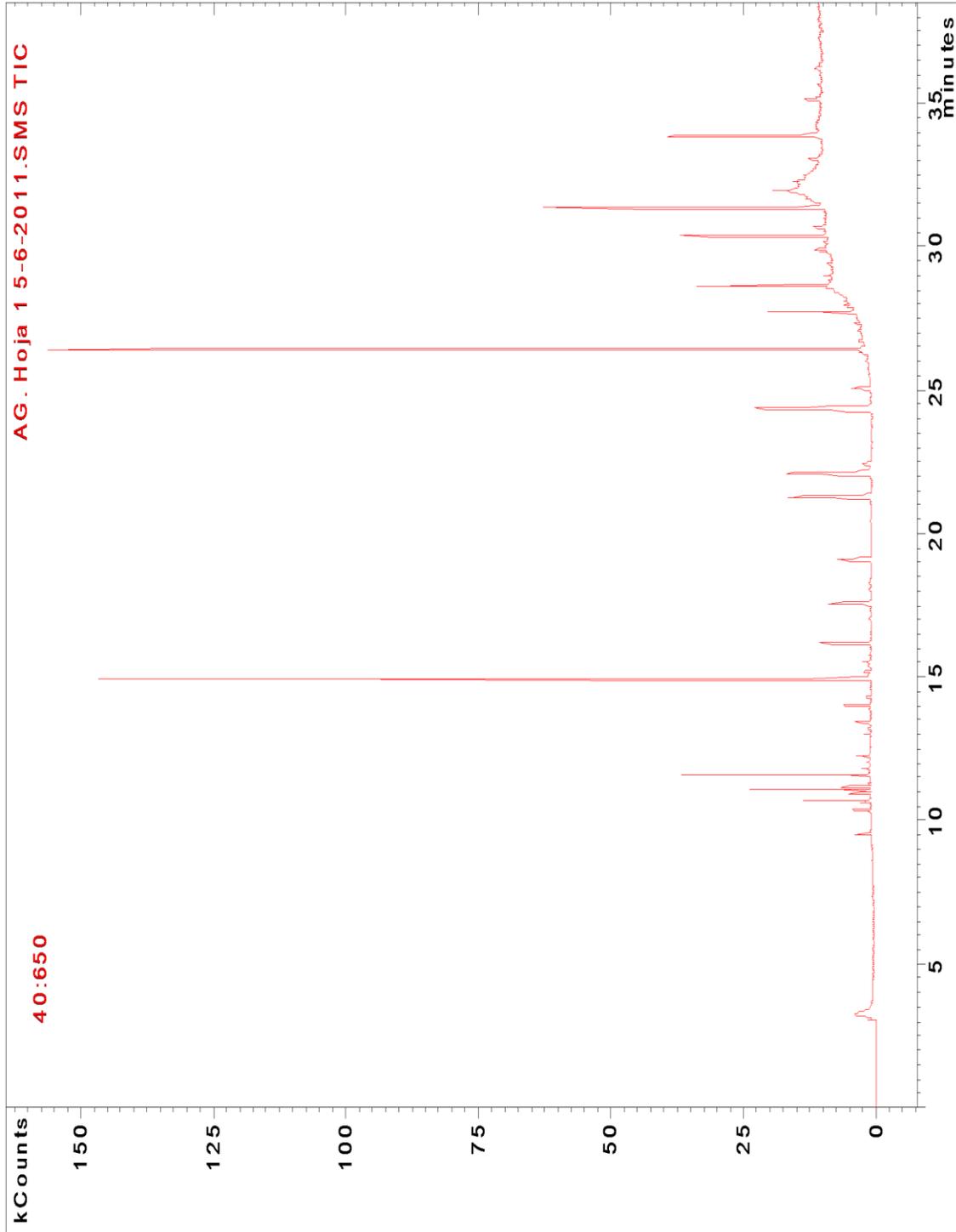
Cromatograma Mezcla 3: 50% Harina de Trigo – 50% Polvo de Moringa



Cromatograma Mezcla 4: 30% Harina de Trigo – 70% Polvo de Moringa

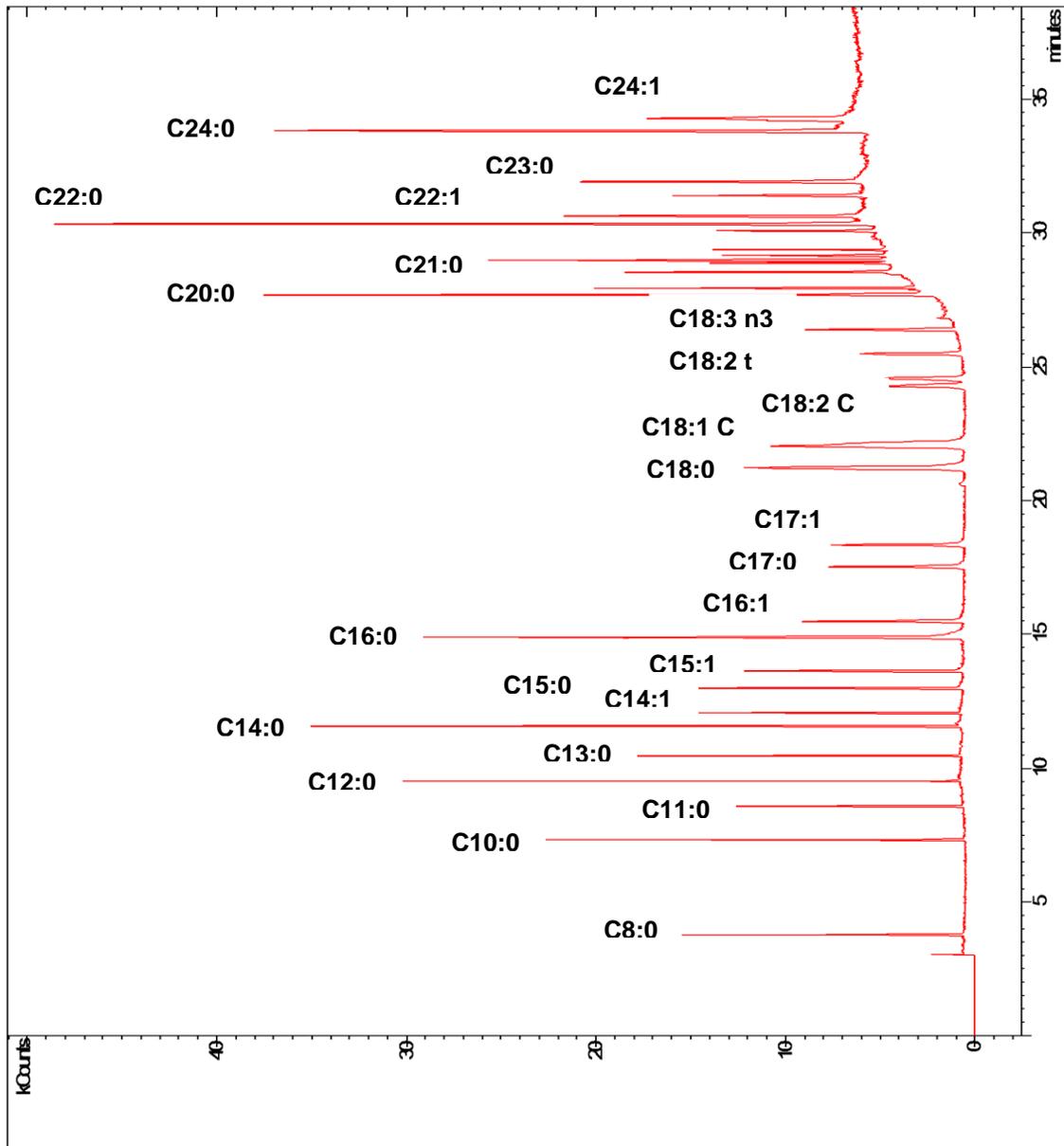


Cromatograma Mezcla 5: 0% Harina de Trigo – 100% Polvo de Moringa

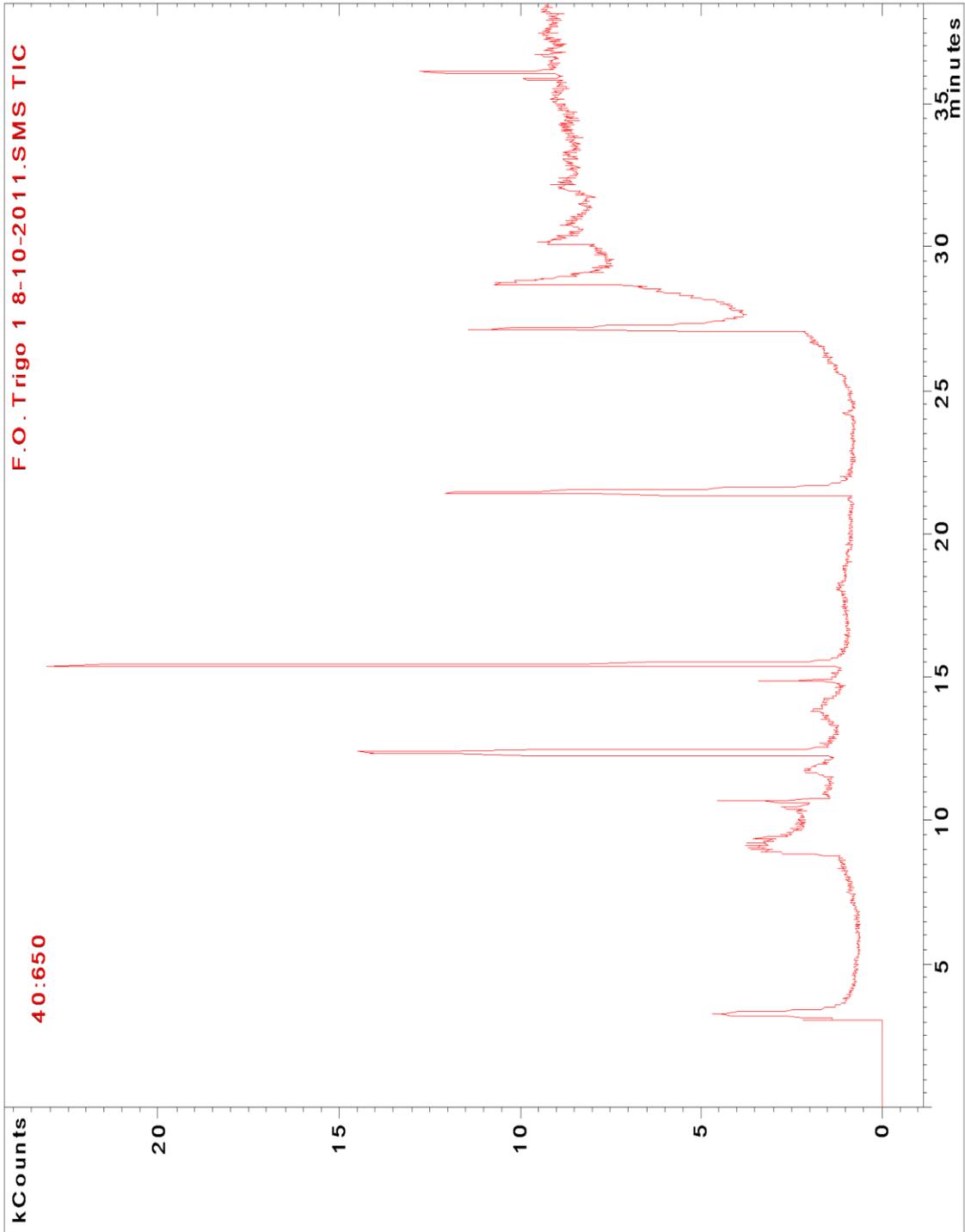


2. Cromatogramas de la determinación de azúcares y ácidos grasos

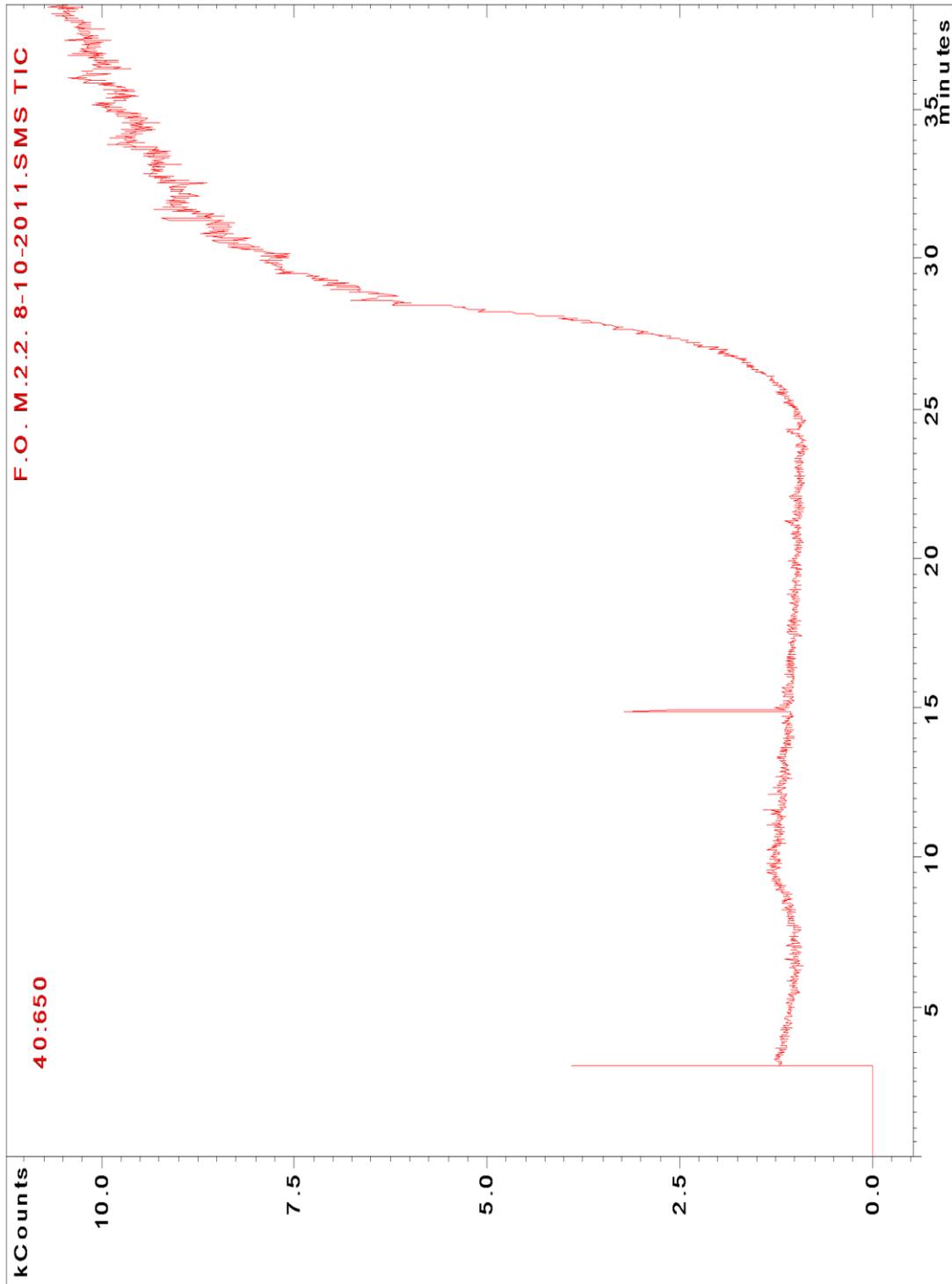
Cromatograma de una mezcla compleja de patrones de ácidos grasos



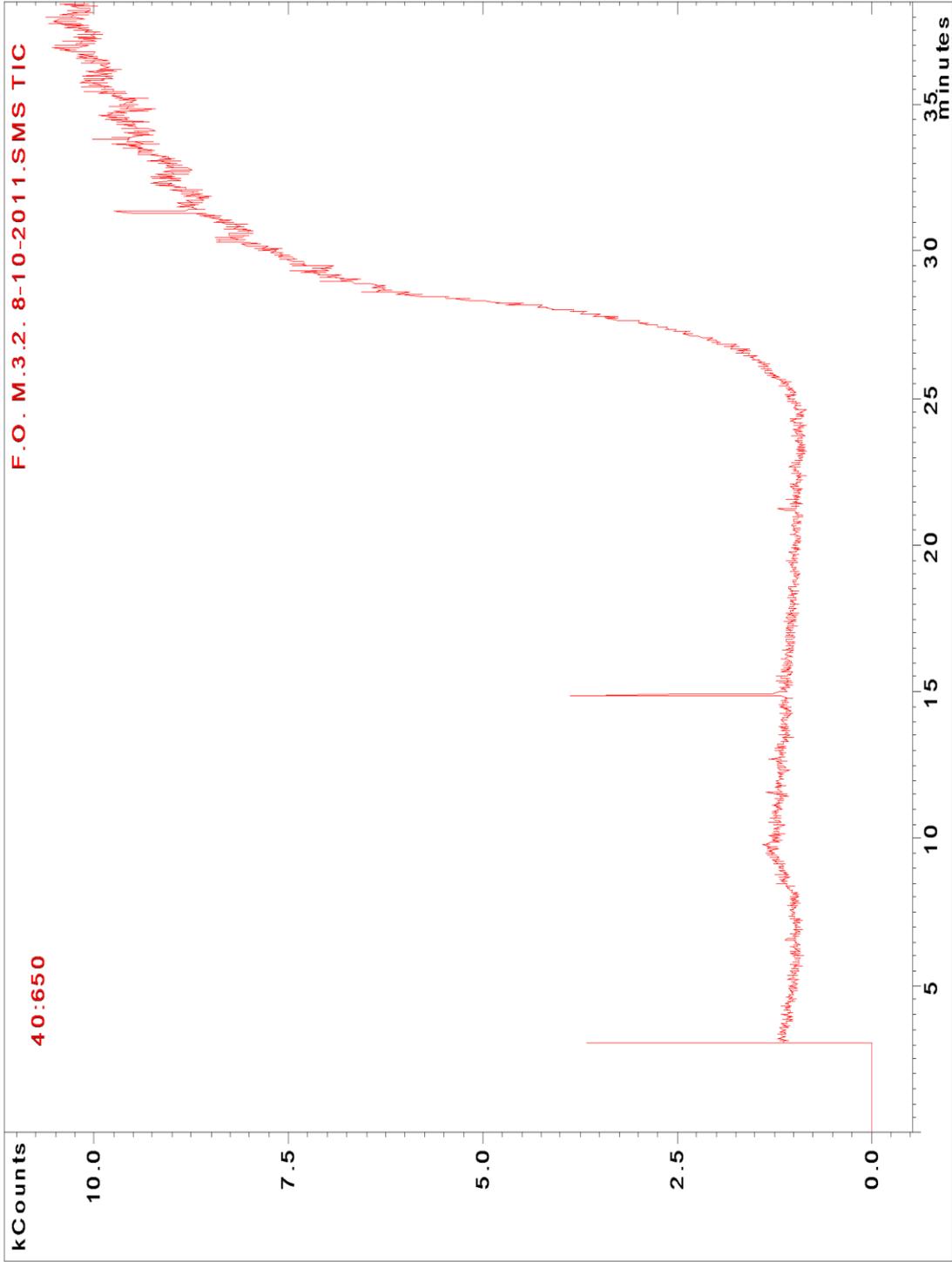
Cromatograma Mezcla 1: 100% Harina de Trigo – 0% Polvo de Moringa



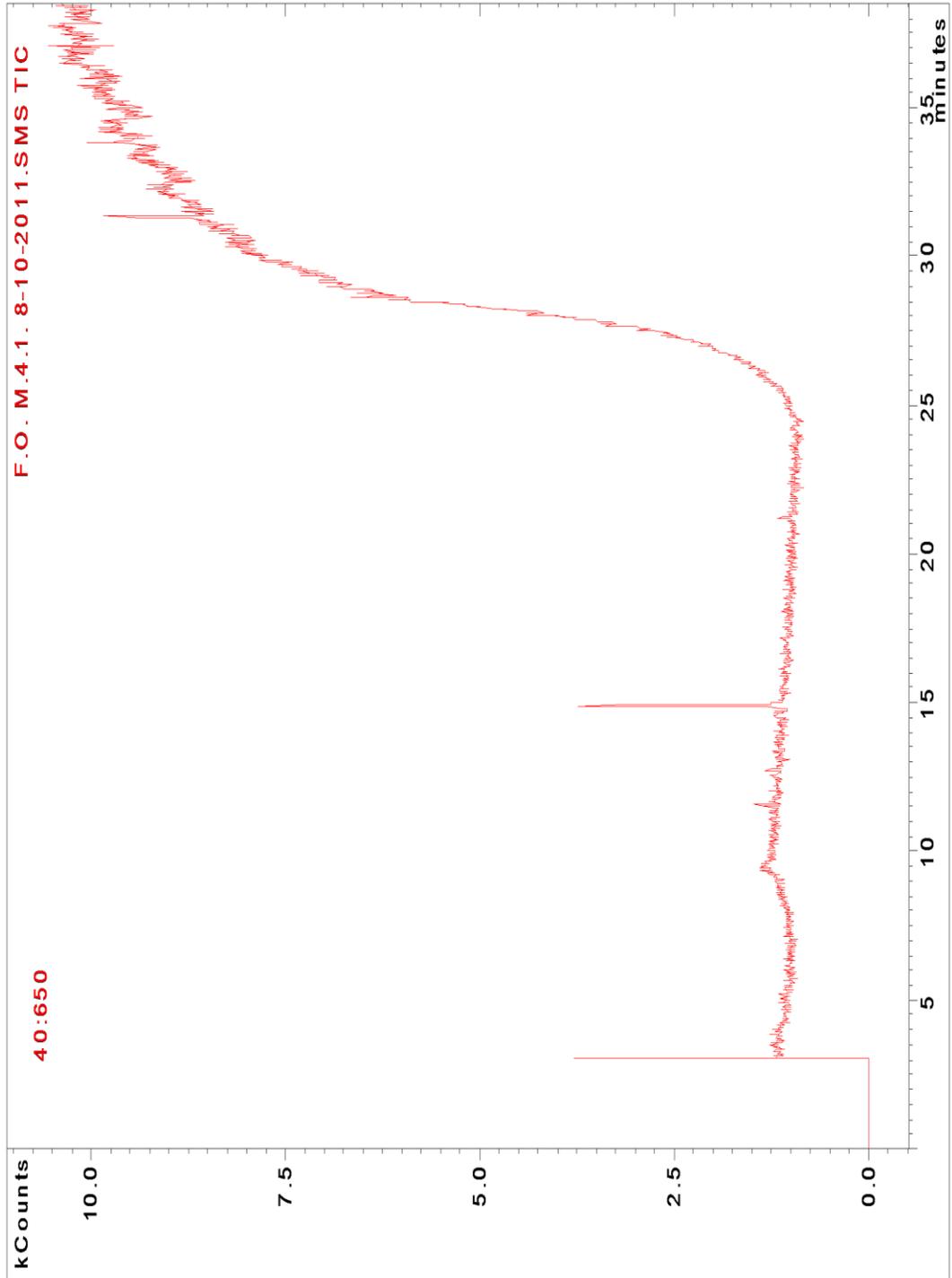
Cromatograma Mezcla 2: 70% Harina de Trigo – 30% Polvo de Moringa



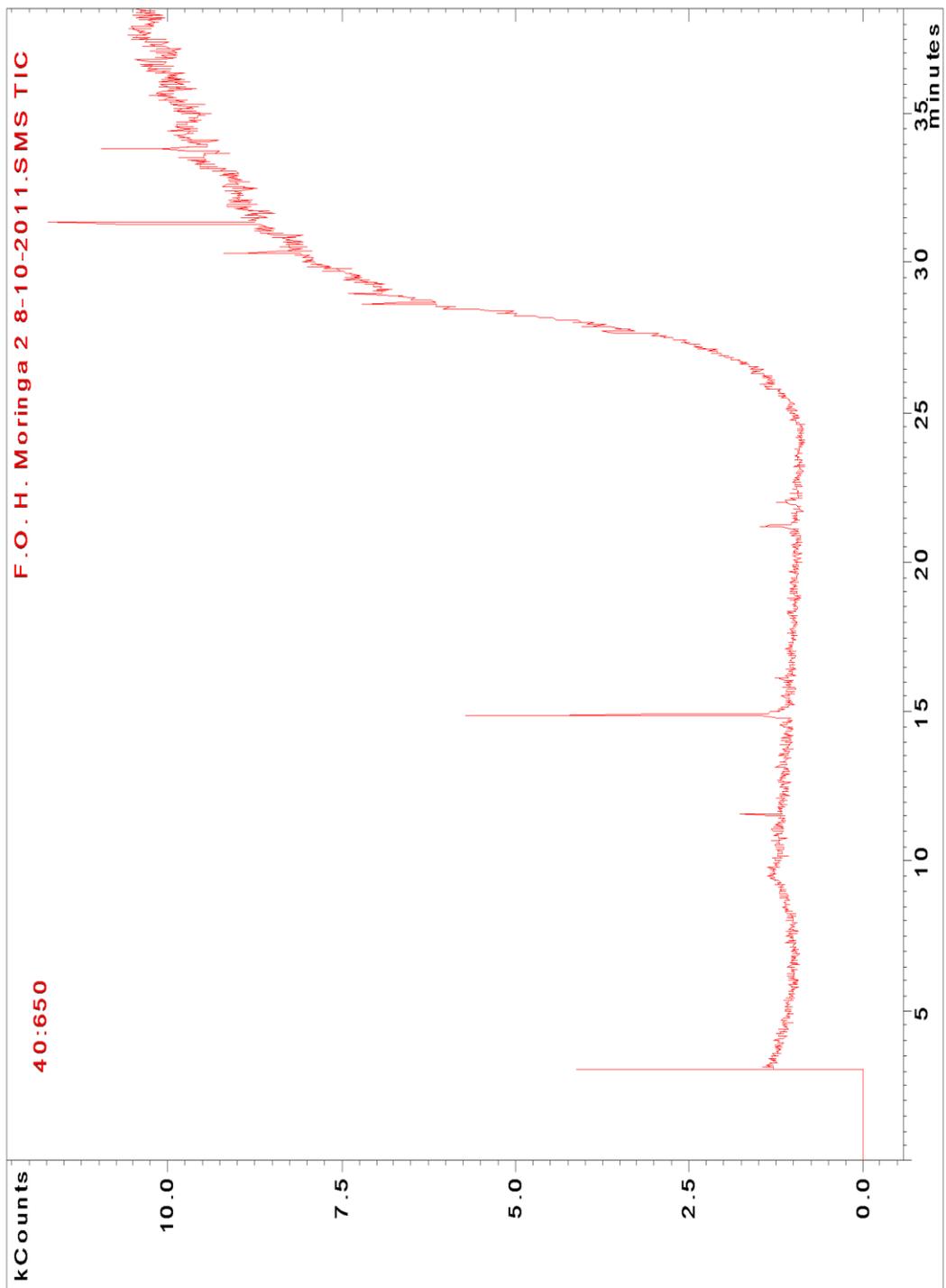
Cromatograma Mezcla 3: 50% Harina de Trigo – 50% Polvo de Moringa



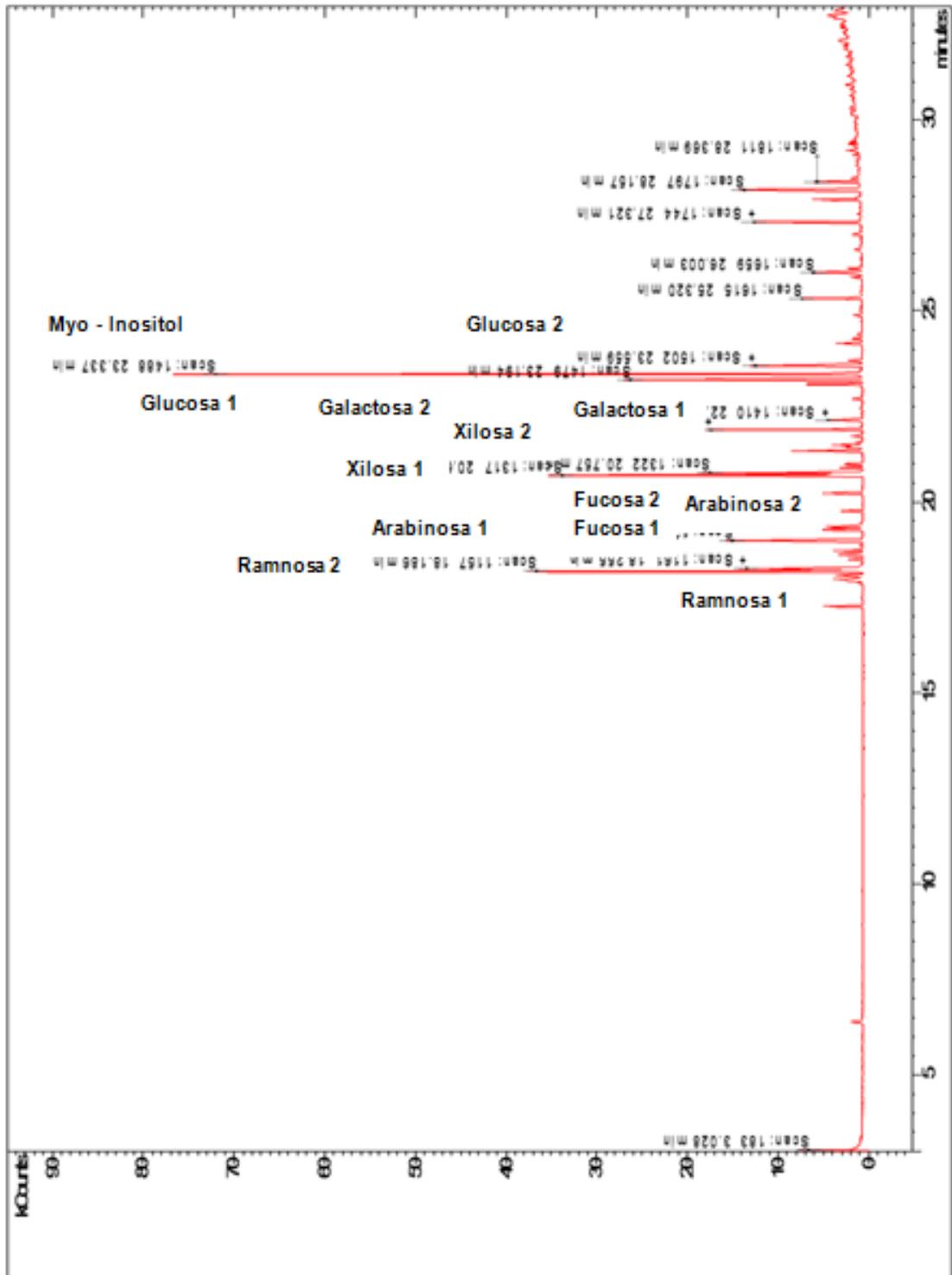
Cromatograma Mezcla 4: 30% Harina de Trigo – 70% Polvo de Moringa



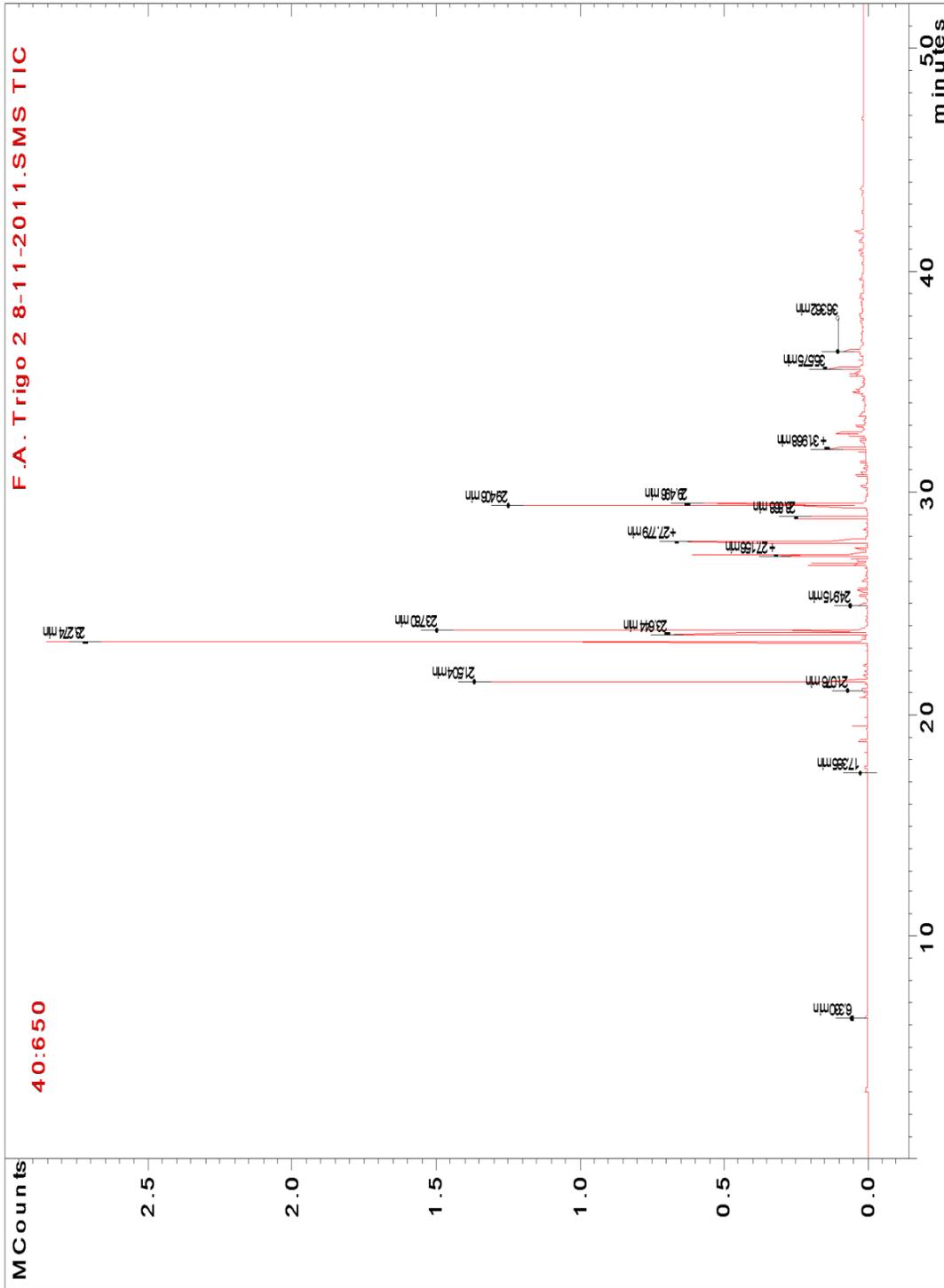
Cromatograma Mezcla 5: 0% Harina de Trigo – 100% Polvo de Moringa



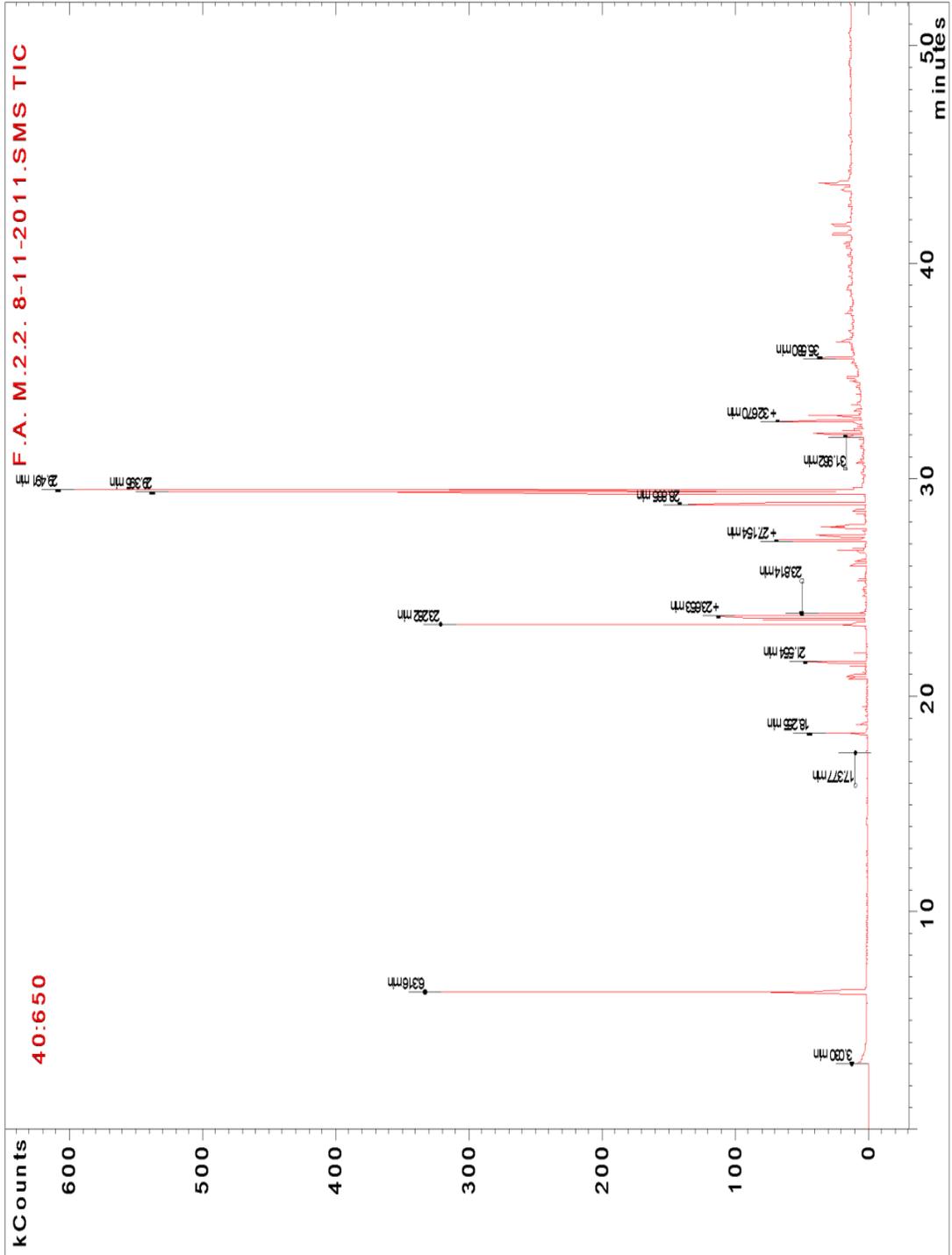
Cromatograma de dos mezcla de patrones de azúcares



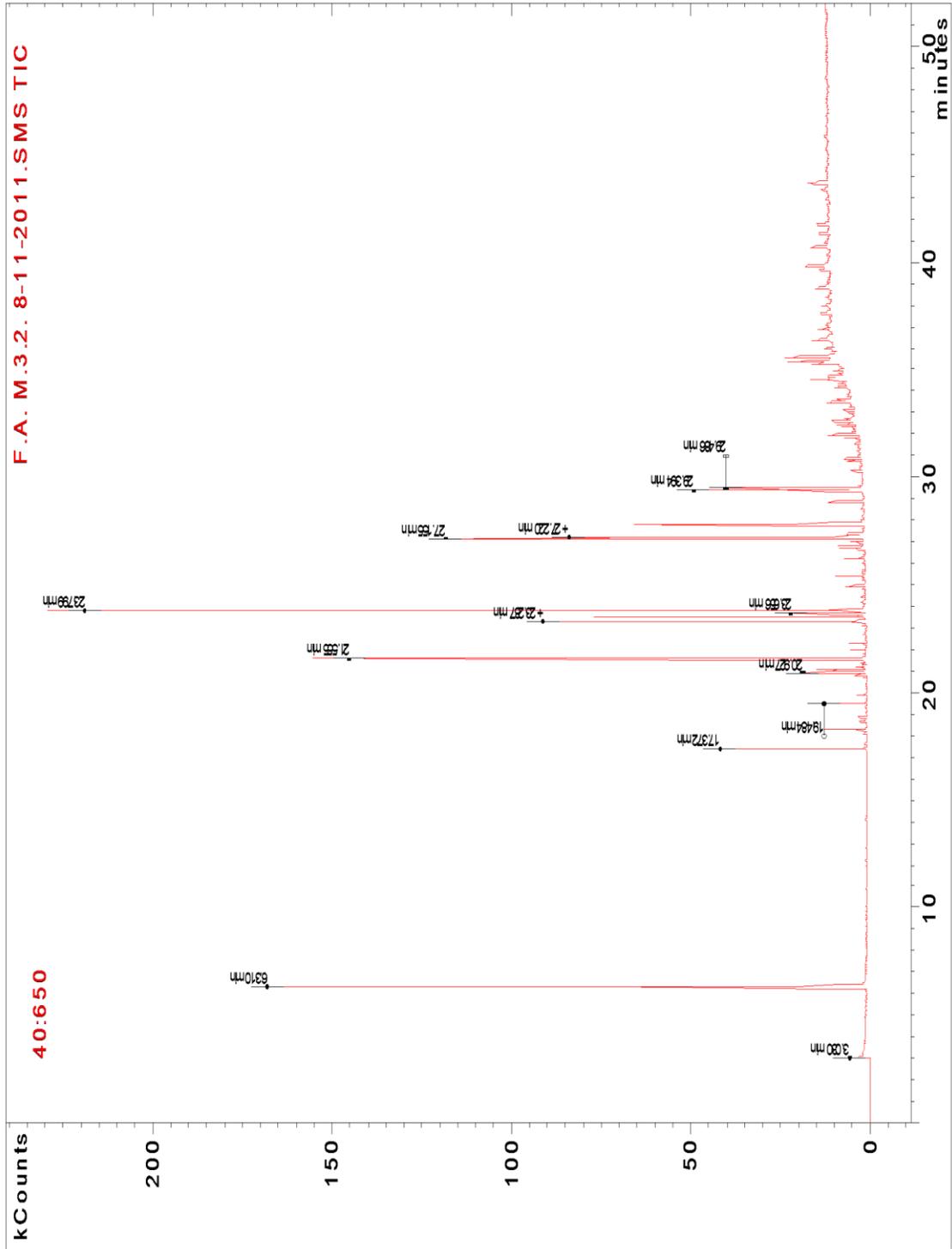
Cromatograma Mezcla 1: 100% Harina de Trigo – 0% Polvo de Moringa



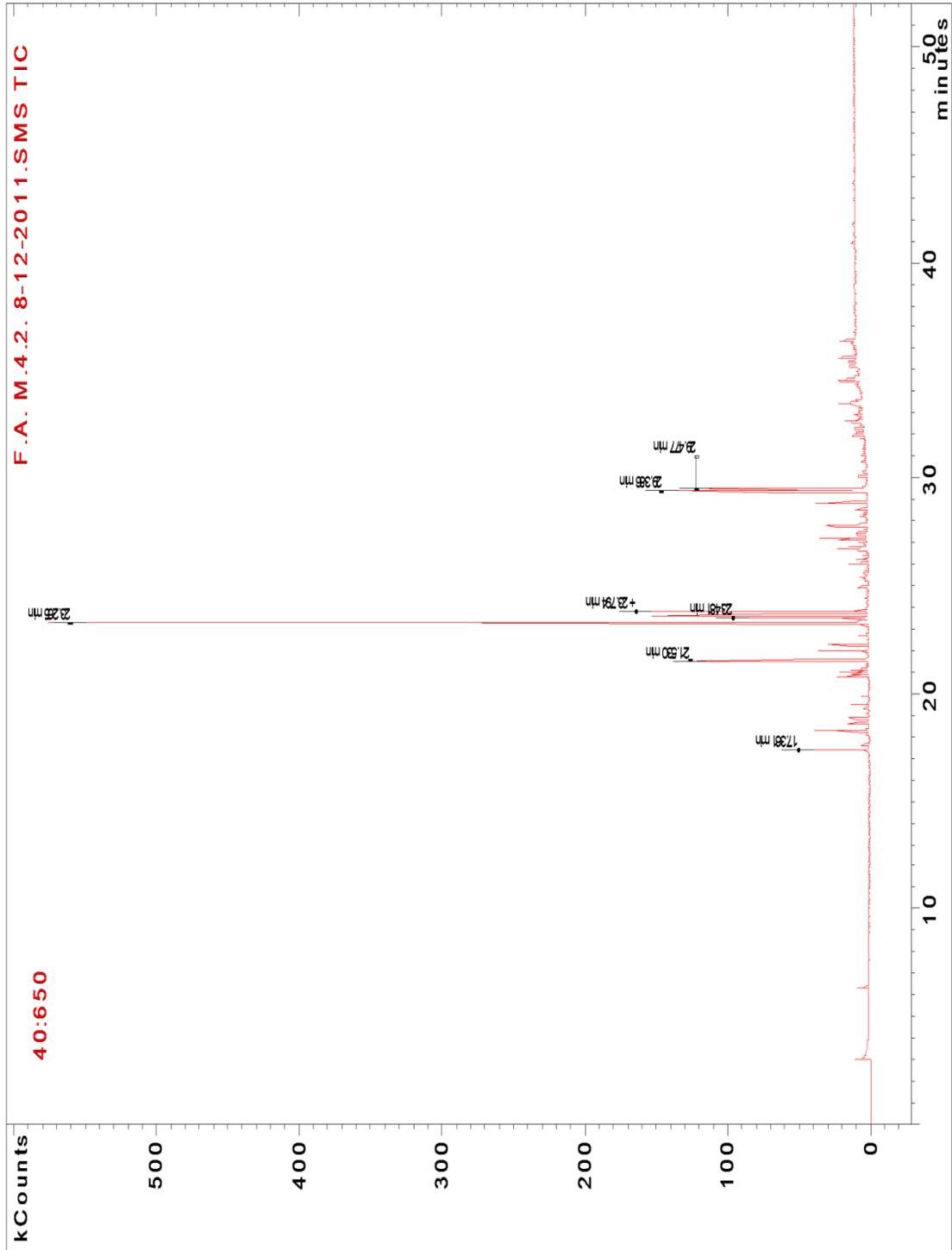
Cromatograma Mezcla 2: 70% Harina de Trigo – 30% Polvo de Moringa



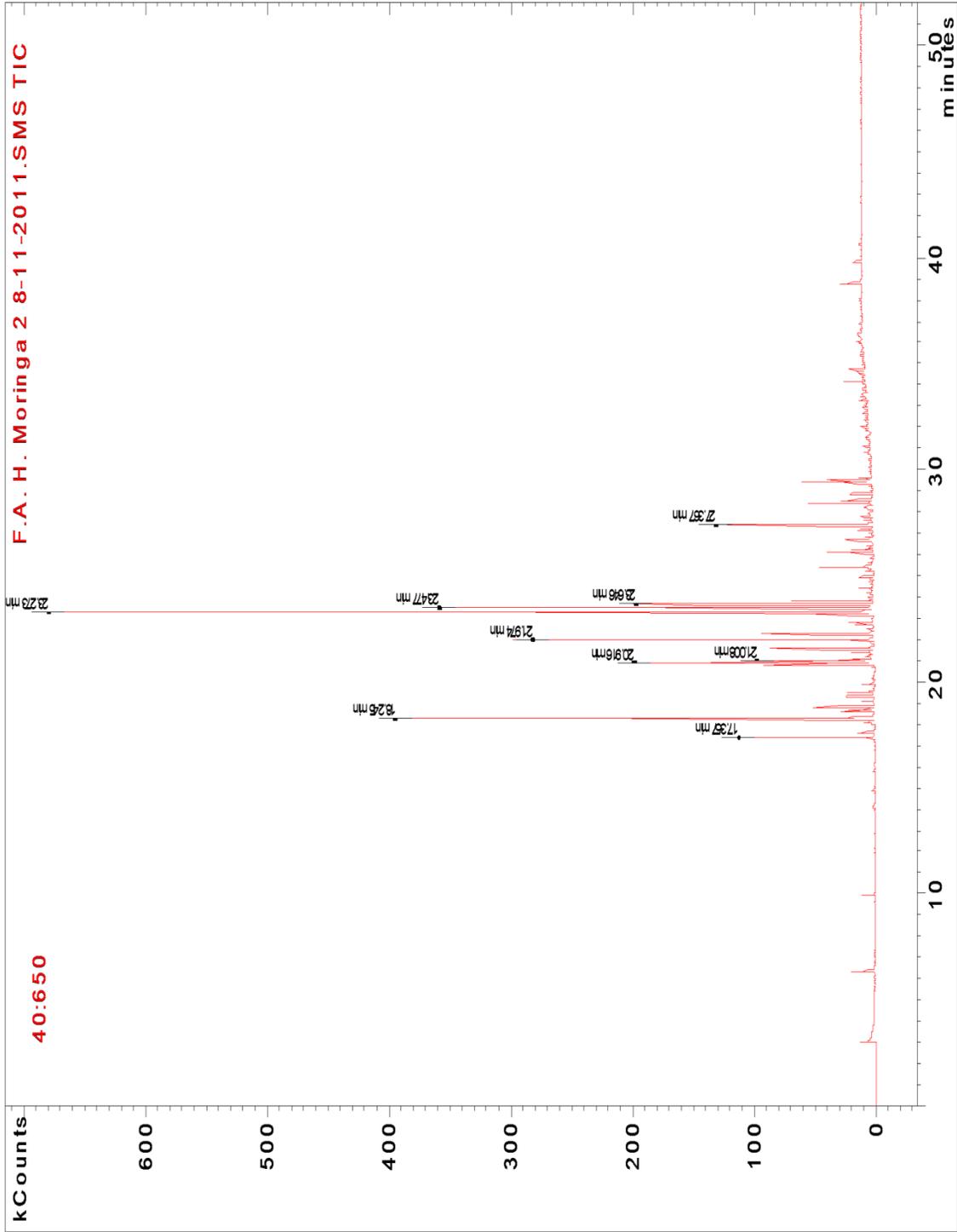
Cromatograma Mezcla 3: 50% Harina de Trigo – 50% Polvo de Moringa



Cromatograma Mezcla 4: 30% Harina de Trigo – 70% Polvo de Moringa

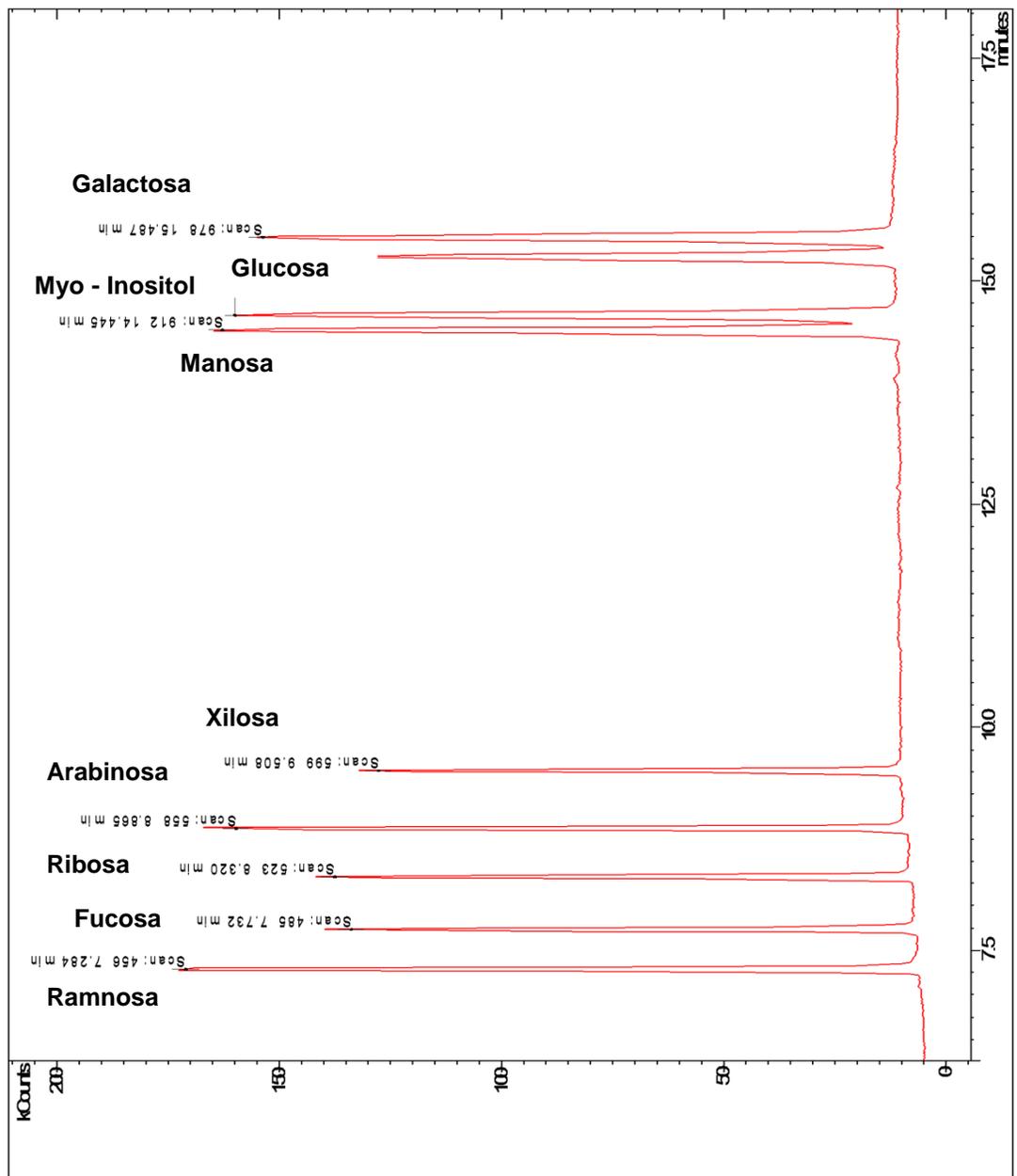


Cromatograma Mezcla 5: 0% Harina de Trigo – 100% Polvo de Moringa

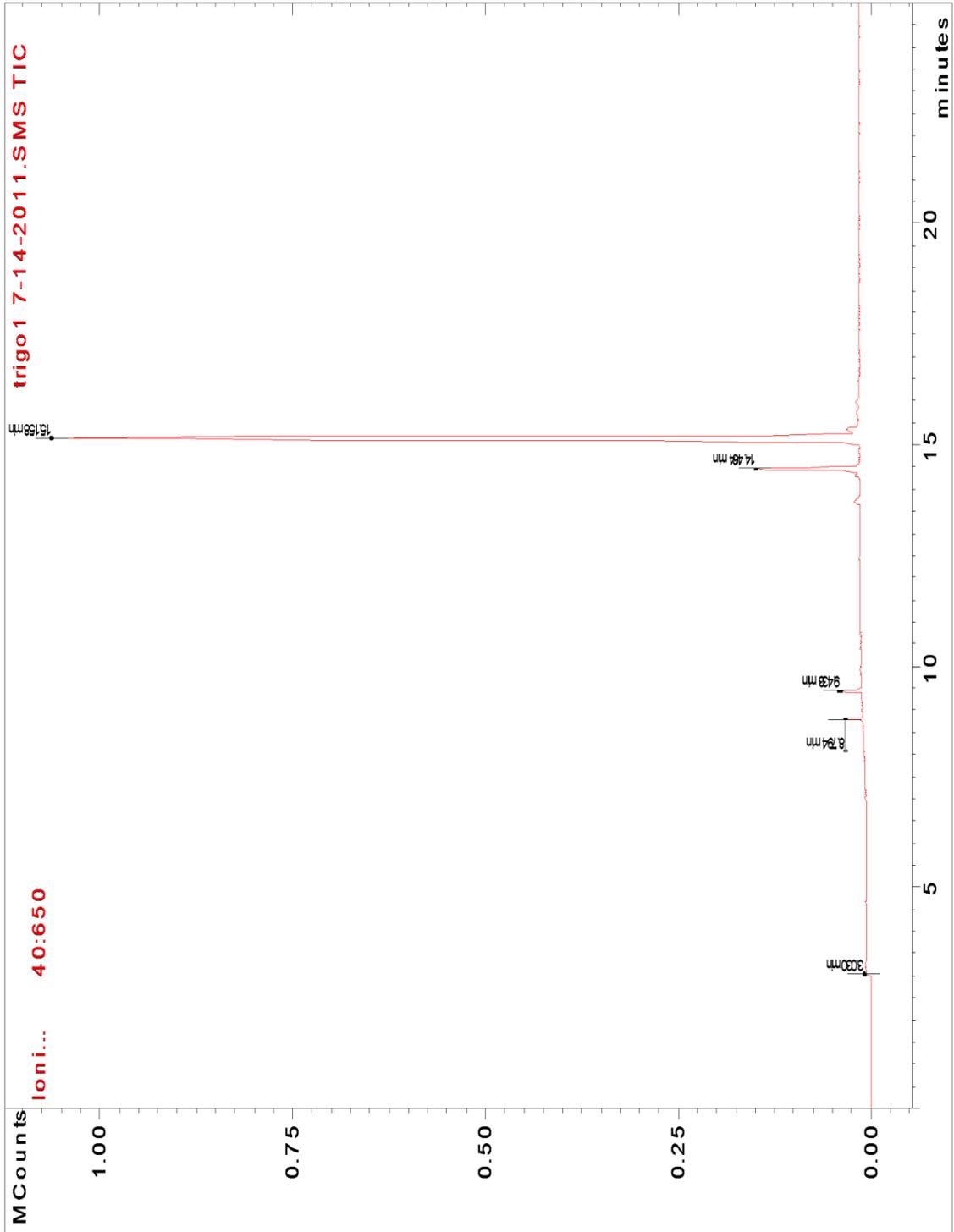


3. Cromatogramas de los azúcares como acetatos de alditol

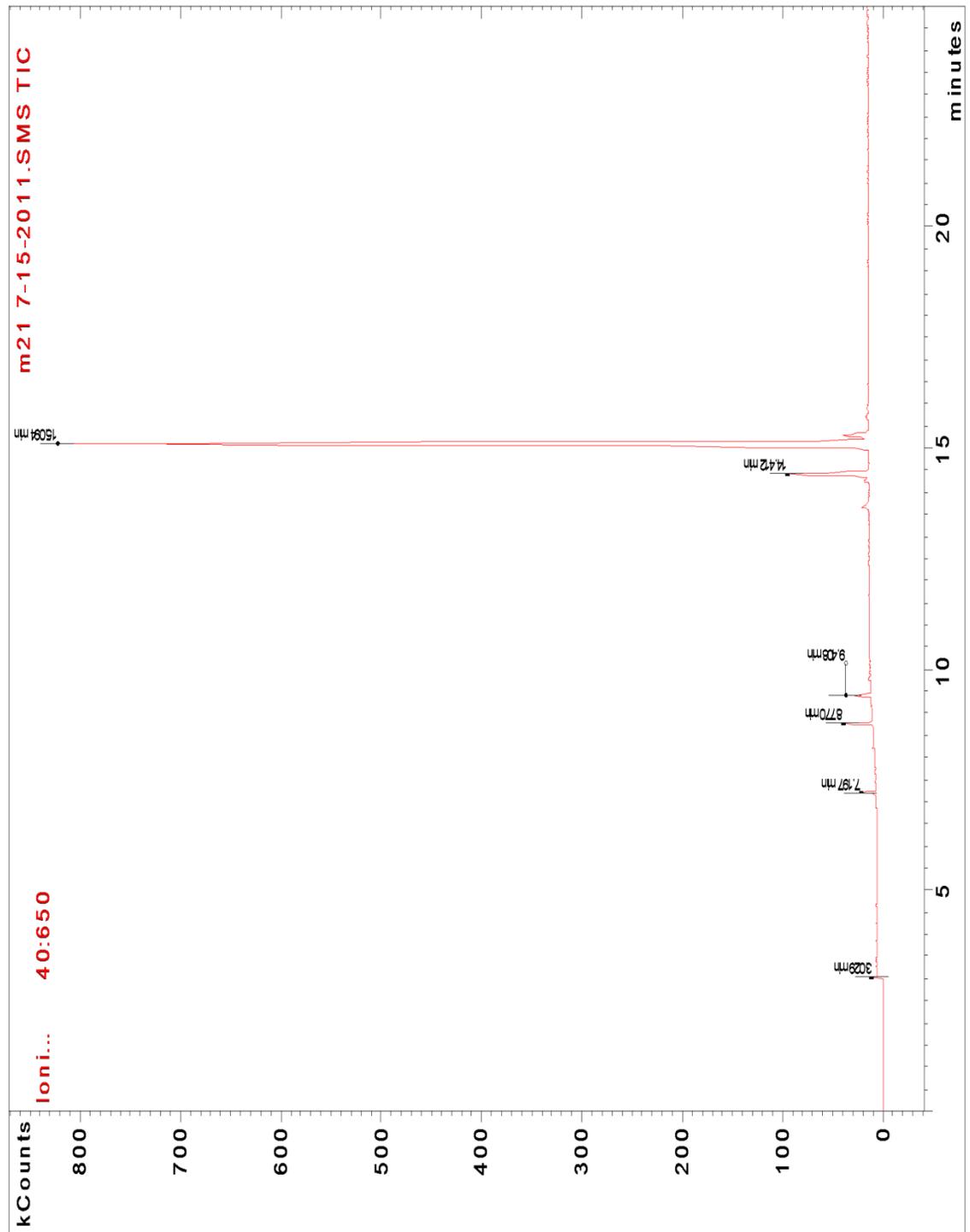
Cromatograma de la mezcla de patrones de azúcares



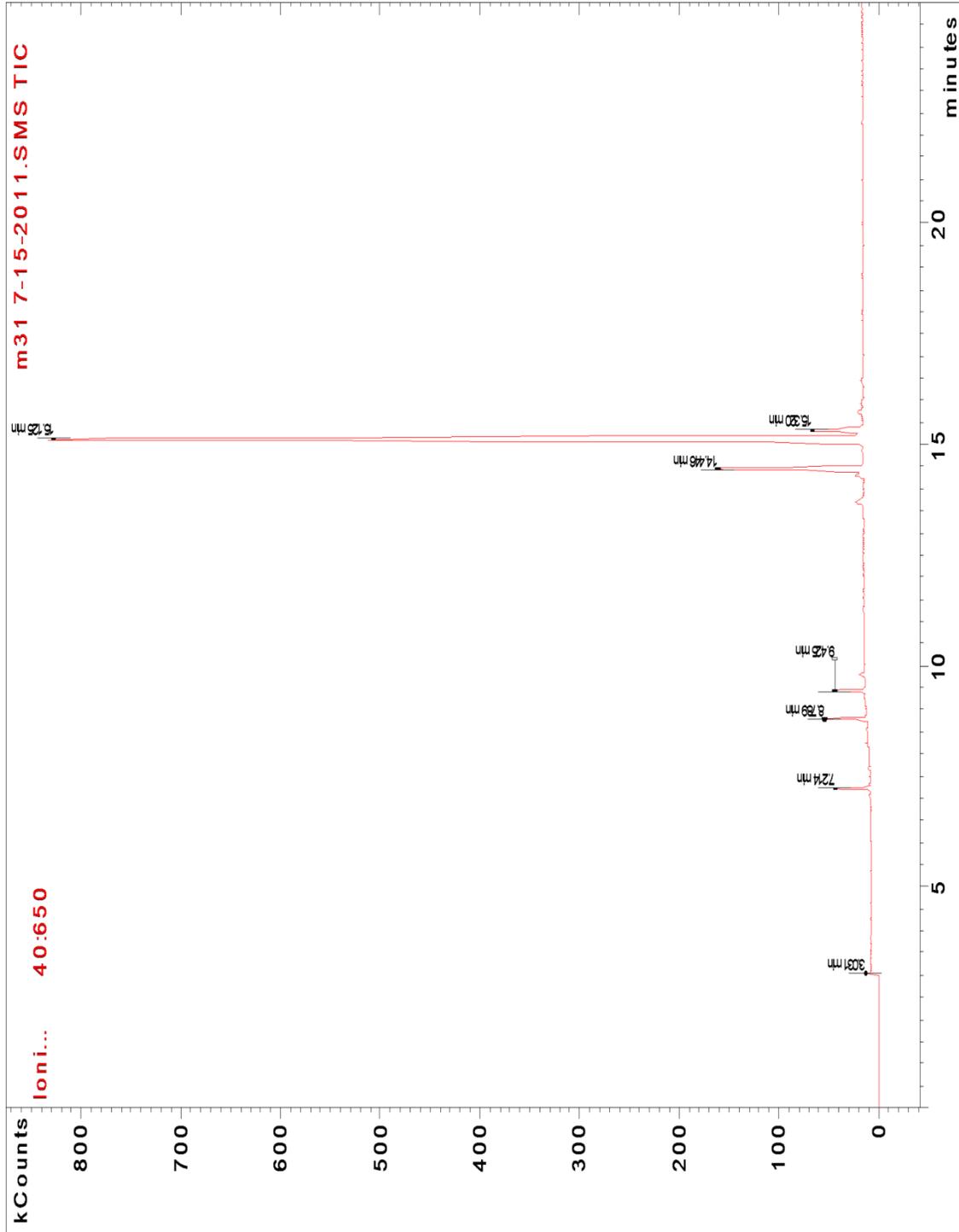
Cromatograma Mezcla 1: 100% Harina de Trigo – 0% Polvo de Moringa



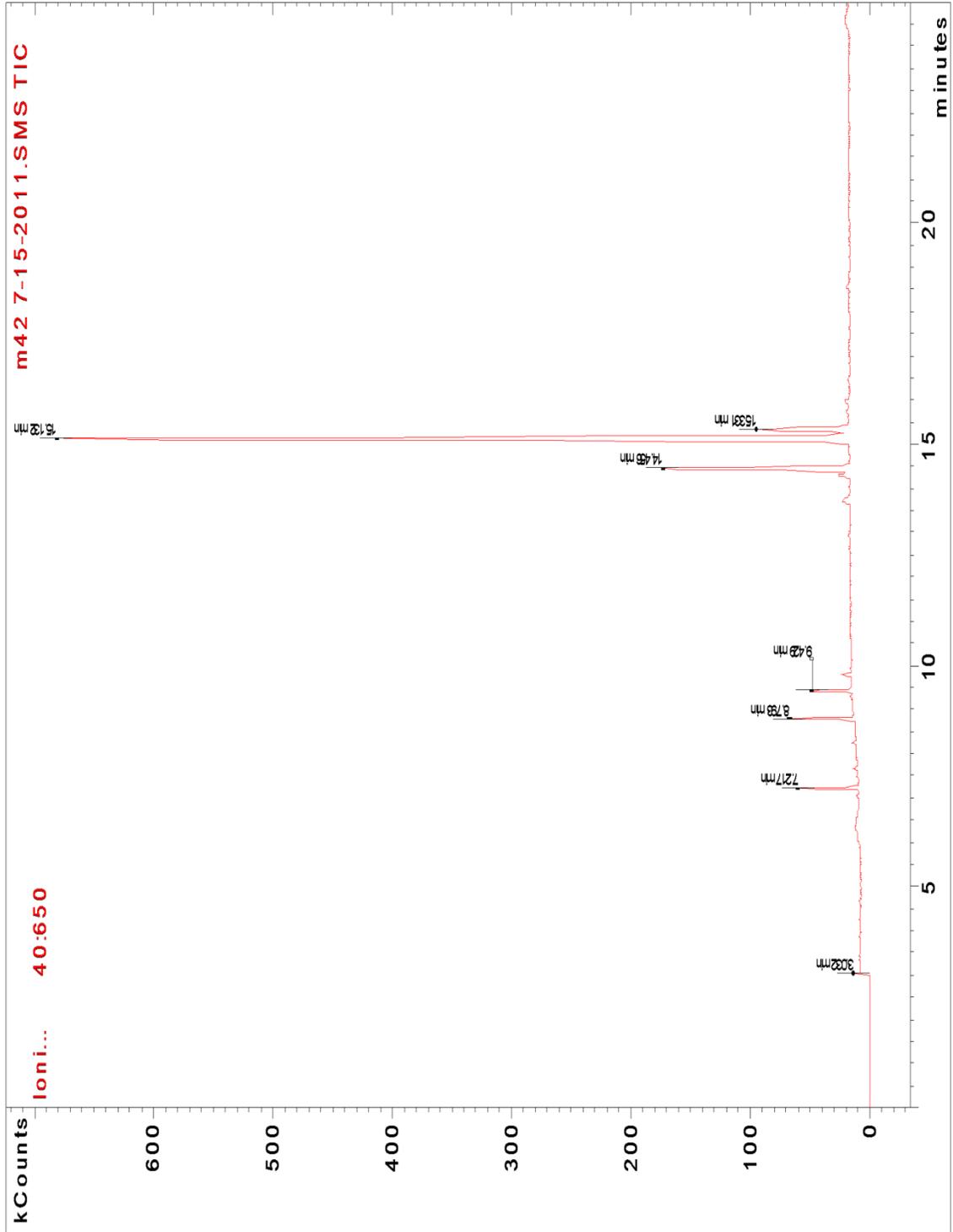
Cromatograma Mezcla 2: 70% Harina de Trigo – 30% Polvo de Moringa



Cromatograma Mezcla 3: 50% Harina de Trigo – 50% Polvo de Moringa



Cromatograma Mezcla 4: 30% Harina de Trigo – 70% Polvo de Moringa



Cromatograma Mezcla 5: 0% Harina de Trigo – 100% Polvo de Moringa

