

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



**“SUSTITUCIÓN DE HARINA DE TRIGO POR HARINA DE TORTA
DE SEMILLA DE MORINGA (*Moringa oleífera*) EN GALLETAS
DULCES”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

KESHIA ESTEFANÍA OJEDA CORREA

LIMA – PERÚ

2022

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

**“SUSTITUCIÓN DE HARINA DE TRIGO POR HARINA DE TORTA DE
SEMILLA DE MORINGA (*Moringa oleífera*) EN GALLETAS DULCES”**

Presentado por:

KESHIA ESTEFANÍA OJEDA CORREA

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:

**M.Sc. Walter F. Salas Valerio
PRESIDENTE**

**Dr. Marcial Silva Jaimes
MIEMBRO**

**Dra. Ritva Repo de Carrasco
MIEMBRO**

**Dr. Américo Guevara Pérez
ASESOR**

**M.Sc. Gloria Pascual Chagman
CO-ASESORA**

Lima – Perú

2022

DEDICATORIA

En memoria de mi abuelo Máximo Segundo Correa Ortiz (papá Segundo), quien me crío y educó como una más de sus hijas, por su amor inmenso y protección incondicional. Su ejemplo de trabajo y lucha me impulsaron a continuar y culminar esta etapa.

A mi madre Eulalia Correa Pérez, por ser el pilar más importante, por su esfuerzo, apoyo, confianza, comprensión y amor incondicional a lo largo de toda mi vida y carrera universitaria, gracias a ti logré llegar hasta aquí y convertirme en lo que soy. Estoy muy orgullosa de ti y tengo el privilegio de ser tu hija. TE AMO MUCHO MAMÁ.

AGRADECIMIENTO

Principalmente a Dios por darme las fuerzas necesarias para continuar y culminar esta etapa a pesar de los obstáculos.

A mi familia, en especial a mi madre por el apoyo en mi educación y formación personal.

A mis asesores, el Dr. Américo Guevara Pérez y Mg. Sc. Gloria Pascual Chagman por su confianza y patrocinio de la siguiente tesis, por sus consejos, correcciones y tiempo dedicado.

Al personal técnico de laboratorio de la Facultad de Industrias Alimentarias de la UNALM.

Al Fondo para la Innovación, la Ciencia y la Tecnología (FINCyT) que financió mi participación como tesista en el proyecto 226-FINCyT-IA- 2013: “Desarrollo de una tecnología de máximo aprovechamiento de las semillas de Moringa (*Moringa oleífera*) como alternativa de súper alimento para la industria del país”.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN

ABSTRACT

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. GENERALIDADES DE LA MORINGA	3
2.1.1. DISTRIBUCIÓN DE LA MORINGA	3
2.1.2. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DE LA ESPECIE	4
2.1.3. PROPIEDADES NUTRICIONALES Y FÍSICO-QUÍMICAS DE LA MORINGA	4
2.1.4. TOXICIDAD DE LA MORINGA	5
2.2. APLICACIÓN Y UTILIDADES DE LA MORINGA	6
2.2.1. USOS ALIMENTICIOS.....	7
2.3. HARINA DE TRIGO	8
2.4. TORTAS DE EXTRACCION	9
2.4.1. POR PRENSA	9
2.4.2. POR EXPPELLER.....	10
2.4.3. POR MEDIO DE SOLVENTES (CONTINUA O DISCONTINUA)	10
2.5. HARINA DE SEMILLA DE MORINGA	11
2.6. GALLETAS	16
2.6.1. DEFINICIÓN Y REQUISITOS GENERALES	16
2.6.2. FUNCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS INGREDIENTES EN EL PROCESO DE GALLETERÍA	17
2.6.3. MÉTODOS EN EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE GALLETAS.....	19
2.7. DISEÑO DE MEZCLAS	20
2.7.1. OPTIMIZACIÓN SIMULTÁNEA DE RESPUESTAS	23
III. METODOLOGÍA	25
3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN	25
3.2. MATERIA PRIMA E INSUMOS.....	25
3.2.1. MATERIA PRIMA.....	25
3.2.2. INSUMOS	25
3.3. MATERIALES Y EQUIPOS	26
3.3.1. MATERIALES	26

3.3.2. EQUIPOS	26
3.3.3. REACTIVOS.....	27
3.3.4. SOFTWARE.....	28
3.4. MÉTODOS DE ANÁLISIS	28
3.4.1. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS.....	28
3.4.2. EVALUACIÓN SENSORIAL	30
3.4.3. PRUEBA BIOLÓGICA.....	31
3.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	32
3.5.1. OBTENCIÓN DE HARINA DE TORTA DE SEMILLA DE MORINGA OBTENIDA POR PRENSA (HP) Y POR EXPELLER (HE)	32
3.5.2. ELABORACIÓN DE GALLETAS DULCES CON SUSTITUCIÓN DE HARINA DE TORTA DE SEMILLA DE MORINGA OBTENIDA POR PRENSA Y POR EXPELLER	33
3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL.....	34
3.6.1. CARACTERIZACIÓN DE LAS TORTAS DE SEMILLA DE MORINGA OBTENIDAS POR PRENSA Y POR EXPELLER.....	36
3.6.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS HARINAS DE TORTAS DE SEMILLA DE MORINGA OBTENIDAS POR PRENSA Y POR EXPELLER.....	36
3.6.3. FORMULACIÓN DE GALLETAS DULCES	36
3.6.4. EVALUACIÓN SENSORIAL DE LAS DOS MEJORES FORMULACIONES DE GALLETAS DULCES	42
3.6.5. CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO FINAL	42
3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	42
3.7.1. EN LA CARACTERIZACIÓN DE LAS TORTAS DE SEMILLA DE MORINGA OBTENIDAS POR PRENSA Y POR EXPELLER.....	42
3.7.2. EN LA CARACTERIZACIÓN DE LAS HARINAS DE LAS TORTAS DE SEMILLA DE MORINGA OBTENIDAS POR PRENSA Y POR EXPELLER.....	42
3.7.3. EN LA FORMULACIÓN DE GALLETAS DULCES.....	43
3.7.4. EN LA EVALUACIÓN SENSORIAL DE LAS DOS MEJORES FORMULACIONES	44
3.7.5. EN LA CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO FINAL.....	44
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	45
4.1. CARACTERIZACIÓN DE LAS TORTAS DE SEMILLA DE MORINGA OBTENIDAS POR PRENSA Y POR EXPELLER.....	45

4.1.1. COMPOSICIÓN PROXIMAL	45
4.1.2. DETERMINACIÓN DE ANTINUTRIENTES	46
4.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS HARINAS DE TORTAS DE SEMILLA DE MORINGA OBTENIDAS POR PRENSA Y POR EXPPELLER.....	47
4.2.1. COMPOSICIÓN PROXIMAL	47
4.2.2. DETERMINACIÓN DE ANTINUTRIENTES	49
4.2.3. PERFIL DE AMINOÁCIDOS	50
4.2.4. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO.....	53
4.2.5. POTENCIAL DE HIDRÓGENO, ACIDEZ Y DETERMINACIÓN DE GLUTEN	
56	
4.3. FORMULACIÓN DE GALLETAS DULCES	57
4.3.1. GALLETAS CON SUSTITUCIÓN DE HARINA DE TORTA DE SEMILLA DE MORINGA OBTENIDA POR PRENSA	57
4.3.2. GALLETAS CON SUSTITUCIÓN DE HARINA DE TORTA DE SEMILLA DE MORINGA OBTENIDA POR EXPPELLER.....	65
4.4. SELECCIÓN DE LAS MEJORES FORMULACIONES DE GALLETAS DULCES	71
4.4.1. GALLETAS CON SUSTITUCIÓN DE HARINA DE TORTA DE SEMILLA DE MORINGA OBTENIDA POR PRENSA	71
4.4.2. GALLETAS CON SUSTITUCIÓN DE HARINA DE TORTA DE SEMILLA DE MORINGA OBTENIDA POR EXPPELLER.....	74
4.5. EVALUACIÓN SENSORIAL DE LAS DOS MEJORES FORMULACIONES DE GALLETAS DULCES	76
4.6. CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO FINAL	79
V. CONCLUSIONES	82
V. RECOMENDACIONES	83
VI. BIBLIOGRAFÍA	84
VII. ANEXOS	91

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Clasificación taxonómica de la Moringa oleífera.....	4
Tabla 2: Propiedades Físicas de la vaina y semilla de Moringa oleífera.....	5
Tabla 3: Características y composición fitoquímica de la semilla de Moringa oleífera.....	5
Tabla 4: Composición química de la harina de trigo.....	9
Tabla 5: Composición química en base seca de la torta desengrasada de diferentes productos alimenticios convencionales y no convencionales	11
Tabla 6: Análisis proximal de la harina de semilla de Moringa oleífera.....	12
Tabla 7: Análisis proximal de las semillas crudas de moringa y harina de semilla desengrasada y desamargada	12
Tabla 8: Contenido de antinutrientes de las semillas crudas de moringa y harina de semilla desengrasada y desamargada.....	13
Tabla 9: Composición de aminoácidos de la proteína de la harina de semilla de moringa, comparado con el concentrado proteico de soya (SPC) y la proteína patrón de FAO/WHO	13
Tabla 10: Caracterización granulométrica de torta de moringa	14
Tabla 11: Caracterización de la torta (prensado) y de la semilla de moringa	15
Tabla 12: Composición química de la torta de moringa (extracción con solvente)	15
Tabla 13: Fórmula de la AACC y fórmula patrón usada en la presente investigación	38
Tabla 14: Restricciones sobre los factores	38
Tabla 15: Porcentaje de los factores en las diez formulaciones	39
Tabla 16: Formulaciones de la masa para la elaboración de galletas	40
Tabla 17: Composición proximal de las tortas de semilla de moringa obtenidas por prensa y por expeller	45
Tabla 18: Análisis de antinutrientes de las tortas de semilla de moringa obtenidas por prensa y por expeller	46
Tabla 19: Composición proximal de las harinas de las tortas de semilla de moringa obtenidas por prensa y por expeller	47
Tabla 20: Análisis de antinutrientes de las harinas de torta de semilla de moringa obtenidas por prensa y por expeller	49
Tabla 21: Perfil de aminoácidos de las harinas de torta de semilla de moringa obtenidas por prensa y por expeller.....	51

Tabla 22: Aminoácidos esenciales de las harinas de torta de semilla de moringa obtenida por prensa (HP) y por expeller (HE) y proteína patrón de FAO/OMS	52
Tabla 23: Análisis Granulométrico de la harina de trigo (HT), harina de torta de semilla de moringa obtenida por prensa (HP) y obtenida por expeller (HE).....	54
Tabla 24: Módulo de Finura y Tamaño Promedio de Partícula de la harina de trigo (HT), harina de torta de semilla de moringa obtenida por prensa (HP) y obtenida por expeller (HE)	54
Tabla 25: Índice de uniformidad de la harina de trigo (HT), harina de torta de semilla de moringa obtenida por prensa (HP) y obtenida por expeller (HE).....	55
Tabla 26: Potencial de hidrógeno (pH), acidez y determinación de gluten en las harinas de trigo (HT), harina de torta de semilla de moringa obtenida por prensa (HP) y por expeller (HE)	56
Tabla 27: Resultados obtenidos de dureza, factor de expansión y contenido proteico en las galletas con harina de torta de semilla de moringa obtenida por prensa	58
Tabla 28: Resultados del ANVA para el modelo de regresión de las tres variables respuestas en las galletas con harina de torta de semilla de moringa obtenida por prensa.....	64
Tabla 29: Resultados obtenidos de dureza, factor de expansión y contenido proteico en las galletas con harina de torta de semilla de moringa obtenida por expeller.....	65
Tabla 30: Resultados del ANVA para el modelo de regresión de las tres variables respuestas en las galletas con harina de torta de semilla de moringa obtenida por expeller	71
Tabla 31: Composición de la formulación óptima, variables respuestas teóricas y deseabilidad global obtenidas tras la optimización simultánea de respuestas con el software Design Expert	72
Tabla 32: Variación de las variables respuesta entre el software Design Expert y la prueba experimental	73
Tabla 33: Composición de la formulación óptima, variables respuestas teóricas y deseabilidad global obtenidas tras la optimización simultánea de respuestas con el software Design Expert	74
Tabla 34: Variación de las variables respuestas entre el software Design Expert y la prueba experimental	76
Tabla 35: Resultados de la evaluación sensorial de las dos mejores formulaciones de galletas dulces.....	77
Tabla 36: Análisis proximal de la galleta con harina de moringa obtenida por prensa.....	79
Tabla 37: Análisis adicionales de la galleta con harina de moringa obtenida por prensa ...	80

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Zonas donde se utiliza la Moringa oleífera actualmente.....	3
Figura 2: Usos potenciales de diferentes partes de la planta de Moringa oleífera en la industria y producción de alimentos.....	7
Figura 3: Distribución granulométrica de torta de semilla de moringa.....	14
Figura 4: Comparación entre la concentración de algunos elementos iónicos en la torta de semilla de moringa con relación al modo de extracción de aceite.....	16
Figura 5: Región Simplex para tres componentes	23
Figura 6: Diseño Triangular para mezcla de 3 componentes.....	24
Figura 7: Flujo de operaciones para obtener harina de torta de semilla de moringa obtenida por prensa y por expeller	33
Figura 8: Flujo de operaciones para la elaboración de galletas dulces con sustitución de harina de trigo por harina de torta de semilla de moringa obtenida por prensa y por expeller	35
Figura 9: Esquema Experimental para la obtención de galletas dulces con inclusión de harina de torta de semilla de moringa.....	37
Figura 10: Superficie de respuesta para la dureza de las galletas en función del porcentaje de harina de trigo (x1), harina de torta de semilla de moringa (x2) y grasa (x3).....	60
Figura 11: Contornos de la superficie de respuesta para la dureza de las galletas	60
Figura 12: Superficie de respuesta para el factor de expansión de las galletas en función del porcentaje de harina de trigo (x1), harina de torta de semilla de moringa (x2) y grasa (x3)	62
Figura 13: Contornos de la superficie de respuesta para el factor de expansión de las galletas	62
Figura 14: Superficie de respuesta para el contenido proteico de las galletas en función del porcentaje de harina de trigo (x1), harina de torta de semilla de moringa (x2) y grasa (x3)	63
Figura 15: Contornos de la superficie de respuesta para el contenido proteico de las galletas	64
Figura 16: Superficie de respuesta para la dureza de las galletas en función del porcentaje de harina de trigo (x1), harina de torta de semilla de moringa (x2) y grasa (x3).....	67
Figura 17: Contornos de la superficie de respuesta para la dureza de las galletas	67

Figura 18: Superficie de respuesta para el factor de expansión de las galletas en función del porcentaje de harina de trigo (x_1), harina de torta de semilla de moringa (x_2) y grasa (x_3)	69
Figura 19: Contornos de la superficie de respuesta para el factor de expansión de las galletas	69
Figura 20: Superficie de respuesta para el contenido proteico de las galletas en función del porcentaje de harina de trigo (x_1), harina de torta de semilla de moringa (x_2) y grasa (x_3)	70
Figura 21: Contornos de la superficie de respuesta para el contenido proteico de las galletas	70
Figura 22: Gráfico de contornos mostrando el punto de la formulación óptima y su deseabilidad global	73
Figura 23: Gráfico de contornos mostrando el punto de la formulación óptima y su deseabilidad global	75

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: TORTAS DE SEMILLA DE MORINGA OBTENIDA POR PRENSA Y POR EXPELLER	91
ANEXO 2: FORMATO DE EVALUACIÓN SENSORIAL PARA LA PRUEBA DE GRADO DE SATISFACCIÓN	92
ANEXO 3: PRUEBA DE VALOR BIOLÓGICO VERDADERO EN LA GALLETA CON HARINA DE MORINGA OBTENIDA POR PRENSA.....	93
ANEXO 4: HARINAS DE TORTA DE SEMILLA DE MORINGA OBTENIDA POR PRENSA (HP) Y POR EXPELLER (HE)	94
ANEXO 5: GALLETAS CON HARINA DE TORTA DE SEMILLA DE MORINGA....	95
ANEXO 6: MEJORES FORMULACIONES DE GALLETAS CON HARINA DE TORTA DE SEMILLA DE MORINGA	100
ANEXO 7: PRUEBA T DE STUDENT	100

RESUMEN

La investigación tuvo como finalidad sustituir la harina de trigo por harina de torta de semilla de moringa extraído por prensa y por expeller en la elaboración de galletas dulces aplicando el método de Diseño de Mezclas en base a tres factores: porcentaje de harina de trigo, porcentaje de harina de torta de semilla de moringa y porcentaje de grasa. Las formulaciones experimentales (10 con cada harina de moringa) fueron evaluadas en dureza, factor de expansión y contenido proteico (variables respuesta en las galletas). Del análisis de las funciones matemáticas para relacionar las variables respuesta y los factores; se obtuvo polinomios de grado dos para dureza y contenido proteico, y de grado tres para el factor de expansión. La metodología de Deseabilidad Global, determinó la mejor formulación con cada harina de moringa que permitió optimizar a la vez la dureza (1000-3000gf), el factor de expansión (81-100 por ciento) y la maximización del contenido proteico. La primera mejor formulación estuvo compuesta por 40,0; 12,1 y 10,9 por ciento de harina de trigo; harina de moringa obtenida por prensa y grasa, respectivamente; galleta que reportó una dureza de 2668,31 gf, factor de expansión de 86,79 por ciento y 17,0 por ciento de proteína. Y la segunda mejor formulación estuvo compuesta por 40,0; 11,4 y 11,6 por ciento de harina de trigo; harina de moringa obtenida por expeller y grasa, respectivamente; galleta que reportó una dureza de 2807,75 gf, factor de expansión de 84,81 por ciento y 14,20 por ciento de proteína. La Prueba del Grado de Satisfacción (Aceptabilidad General) encontró diferencia significativa al 5 por ciento entre ambas formulaciones, siendo elegida la galleta preparada con harina de moringa obtenida por prensa, que reportó un valor biológico verdadero de 65,5 por ciento.

Palabras claves: *moringa oleífera*, torta de semilla de moringa, diseño de mezclas, galletas dulces.

ABSTRACT

The purpose of the research was to replace wheat flour with moringa seed cake flour extracted by press and to expel in the preparation of sweet cookies using the method of Mix Design based on three factors: percentage of wheat flour, percentage of moringa seed cake flour and fat percentage. Experimental formulations (10 with each moringa flour) were evaluated for hardness, expansion factor and protein content (response variables in cookies). From the analysis of mathematical functions to relate the response variables and the factors; polynomials of degree two were obtained for hardness and protein content, and of grade three for the expansion factor. The Global Desirability methodology, determined the best formulation with each moringa flour that allowed to optimize both hardness (1000-3000gf), expansion factor (81-100 percent) and maximization of protein content. The first best formulation was composed of 40.0; 12.1 and 10.9 percent wheat flour; moringa flour obtained by press and fat, respectively; cookie that reported a hardness of 2668.31 gf, expansion factor of 86.79 percent and 17.0 percent protein. And the second best formulation was composed of 40.0; 11.4 and 11.6 percent wheat flour; moringa flour obtained by expeller and fat, respectively; cookie that reported a hardness of 2807.75 gf, expansion factor of 84.81 percent and 14.20 percent protein. The Satisfaction Degree Test (General Acceptability) found a significant difference at 5 percent between both formulations, being chosen the biscuit prepared with moringa flour obtained by the press, which reported a true biological value of 65.5 percent.

Keywords: *moringa oleifera*, moringa seed cake, mix design, sweet biscuits.

I. INTRODUCCIÓN

La *Moringa oleífera* (árbol milagroso) es la especie más conocida del género *Moringa*, de mucho interés nutricional donde cada parte del árbol tiene beneficios. Originaria de India y que hoy se encuentra ampliamente en las zonas tropicales de Asia, África y América Latina (Rau, 2011).

El alto contenido proteico, vitamínico y mineral de esta planta la convierte en un suplemento potencial contra la desnutrición infantil, es por ello que en el Perú hay en total 20 hectáreas de moringa instaladas en los alrededores de Ica, Pisco, Huacho, Chiclayo, Piura, Tarapoto y Madre de Dios. A pesar que la planta posee diversos usos, en el país se enfoca principalmente al uso de sus hojas por el alto contenido nutricional que posee, siendo una de las características más atractivas de la moringa por lo que puede ser usado como complemento nutricional (Chepote, 2013).

Las semillas producen un aceite comestible y lubricante de alta calidad. La torta resultante del prensado de las semillas para obtener el aceite, es usado como forraje nutritivo para los animales por su alto contenido proteico, como fertilizante por su alto contenido de nitrógeno, pero también contiene uno de los floculantes o aglutinantes vegetales más potentes que puede eliminar la turbidez del agua (Reyes *et al.*, 2006).

Actualmente en nuestro país se está buscando obtener un máximo aprovechamiento de la semilla, por lo que además de los usos que se le da a la torta resultante de la extracción de aceite, se persigue otorgar otra aplicación derivándolo a la obtención de productos de amplio consumo y aceptación como son las galletas.

Por lo expuesto, en esta investigación se plantearon los siguientes objetivos:

- Caracterizar las harinas de las tortas de semilla de moringa obtenidas por prensa y por expeller, en análisis proximal, análisis de antinutrientes (fitatos y saponinas), perfil de aminoácidos, análisis granulométrico, pH, acidez y gluten.
- Determinar mediante el método de Diseño de Mezclas, el porcentaje óptimo de sustitución de la harina de trigo por harina de torta de semilla de moringa obtenida por prensa y por expeller, en la elaboración de galletas dulces.
- Evaluar sensorialmente las dos muestras de galletas dulces obtenidas y caracterizar a la galleta con mayor aceptabilidad general, en análisis proximal, pH, acidez, índice de peróxido y prueba de valor biológico verdadero.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. GENERALIDADES DE LA MORINGA

2.1.1. DISTRIBUCIÓN DE LA MORINGA

Se distribuye por todo el mundo, en los trópicos y sub trópicos. Son especies principalmente asiáticas, originaria de las faldas del sub Himalaya, en el norte de la India, aunque pueden encontrarse hoy día a lo largo de todo el planeta como se observa en la Figura 1 (García *et al.*, 2013).

La *Moringa oleífera* crece y se utiliza en muchas zonas áridas del mundo: desde África hasta Asia pasando por América Latina (García *et al.*, 2013).



Figura 1: Zonas donde se utiliza la *Moringa oleífera* actualmente

FUENTE: García *et al.* (2013)

2.1.2. DESCRIPCIÓN BOTÁNICA DE LA ESPECIE

En la Tabla 1 se presenta la clasificación taxonómica de la *Moringa oleífera*.

Tabla 1: Clasificación taxonómica de la *Moringa oleífera*

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

FUENTE: Ruiz (2011)

2.1.3. PROPIEDADES NUTRICIONALES Y FÍSICO-QUÍMICAS DE LA MORINGA

El árbol de moringa 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 (Alfaro & Martínez, 2008).

La hoja de *Moringa oleífera* posee un porcentaje superior al 25 por ciento de proteínas, esto es, tantas como el huevo, o el doble que la leche de vaca, 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, fosforo y otros elementos (Alfaro & Martínez, 2008).

Las semillas tienen entre 30 y 42 por ciento de aceite y su torta contiene un 60 por ciento de proteína (Alfaro, 2008).

En las Tablas 2 y 3 se presentan algunas de las propiedades físico-químicas del fruto de moringa (vainas y semillas).

Tabla 2: Propiedades Físicas de la vaina y semilla de *Moringa oleífera*

Determinación	Valor
Peso promedio de la vaina (g)	7,95
Número promedio de semillas por vaina	16
Peso promedio de cada semilla (g)	0,3 – 0,4
Humedad en la cáscara (%) ^(a)	12,9
Humedad en la semilla entera (%) ^(a)	6,52-7,5
Humedad en las vainas (%) ^(a)	86,9
Gravedad específica de la semilla	0,898

^(a)Porcentajes expresados en base húmeda

FUENTE: Alfaro (2008)

Tabla 3: Características y composición fitoquímica de la semilla de *Moringa oleífera*

Parámetro	Valor
Valor de saponificación (mgKOH/g)	182,2
Cenizas (%) ^(a)	3,16
Proteína (%) ^(a)	46,58
Grasa (%) ^(a)	32,60
Carbohidratos (%) ^(a)	11,16

^(a)Porcentajes expresados en base húmeda

FUENTE: Alfaro (2008)

2.1.4. TOXICIDAD DE LA MORINGA

Los compuestos de *Moringa oleífera* tienen una toxicidad muy baja, contiene como principios tóxicos benzil, ácido moríngico y ácido cianhídrico. La corteza fresca contiene

beta sistosterol y pequeñas trazas de alcaloides (Alfaro, 2008).

Los cotiledones de la semilla presentan efectos tóxicos por inhibición de la enzima acetilcolinesterasa, el efecto tóxico probablemente 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 (Alfaro, 2008).

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 (Ruiz, 2011).

2.2. APLICACIÓN Y UTILIDADES DE LA MORINGA

El árbol de *Moringa oleífera* brinda una innumerable cantidad de productos valiosos que poseen utilidades extremadamente interesantes y que las comunidades han aprovechado por cientos o tal vez miles de años. El aceite de la semilla de *Moringa oleífera* puede utilizarse en la cocina, para producir jabones, cosméticos y combustible para lámparas (Sánchez, 2004).

Los residuos de la extracción del aceite de las semillas pueden utilizarse como acondicionador del suelo o como fertilizante porque posee un gran contenido en nitrógeno y tienen potencial para ser utilizados como suplemento alimenticio avícola y ganadero (Folkard & Sutherland, 1996).

Las vainas verdes, las hojas, las flores y las semillas tostadas son muy nutritivas y se consumen en muchas partes del mundo (Folkard & Sutherland, 1996).

La *Moringa oleífera* puede ser usada, entre otras cosas, como proveedor de biogás, como agente doméstico de limpieza, como tinte, productor de goma natural, clarificador y productor de miel. También tiene usos medicinales y ornamentales, función como coagulante

natural para clarificación de agua, entre otros. En la Figura 2 se muestran los usos más importantes de la planta en diversas industrias cosméticas, farmacológicas, sanitarias, agronómicas, alimenticias entre otras (Sánchez, 2004).

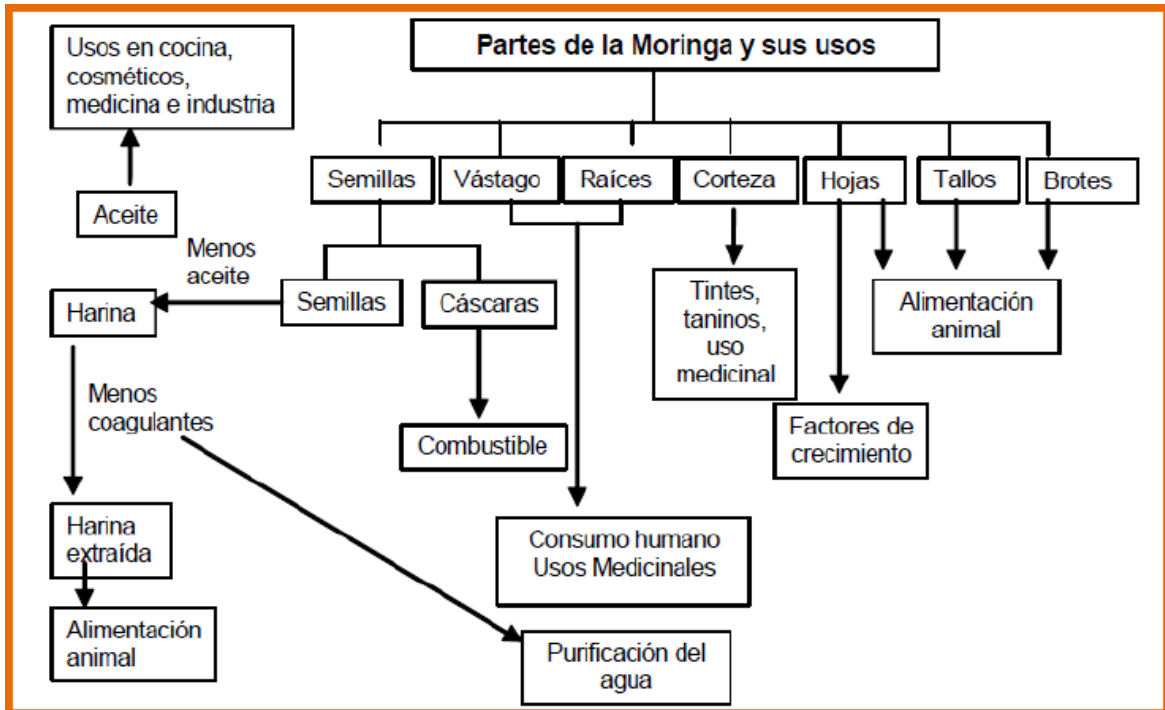


Figura 2: Usos potenciales de diferentes partes de la planta de Moringa oleífera en la industria y producción de alimentos

FUENTE: Alfaro (2008)

2.2.1. USOS ALIMENTICIOS

La *Moringa oleífera* posee cualidades nutricionales sobresalientes y está considerada como uno de los mejores vegetales perennes, que difícilmente se pueda encontrar otro alimento más completo en el cual los frutos verdes, semillas y raíces también son comestibles (Martínez *et al.*, 2011).

a. ALIMENTACIÓN ANIMAL

La *Moringa oleífera* es superior a cualquier otro tipo de forraje con relación al rendimiento

promedio en biomasa comestible en toneladas por hectárea por año. Las hojas contienen de 20-28 por ciento de proteína (base seca), son muy ricas en vitaminas y minerales con una palatabilidad excelente (Barrera & Bello, 2004). Por el contenido de proteínas, vitaminas y minerales, la *Moringa oleífera* se ubica como un suplemento de importancia (debidamente balanceado) en la dieta de ganadería de leche, así como en la dieta de aves, peces, cerdos etc., así como también para la elaboración de harina proteica y materia prima para fábricas de alimentos balanceados para animales de alta conversión y bajo costo, mediante el proceso de deshidratación, molienda, acondicionamiento, extruido o peletizado (Garavito, 2008).

b. ALIMENTACIÓN HUMANA

Todas las partes de la planta son comestibles, proporcionando un excelente alimento. La semilla de moringa contiene un 35 por ciento de aceite. Es un aceite de muy alta calidad, poco viscoso, dulce y no desarrolla rancidez, con un 73 por ciento de ácido oleico, de calidad por tanto similar al aceite de oliva (Ruiz, 2011).

Las diversas partes se pueden consumir crudas (especialmente las hojas y flores) o cocinadas de diversas maneras las cuales tienen un ligero sabor a berro y espinaca. Las vainas son a menudo cocinadas y comidas como arvejas, la raíz tiene un sabor similar al rábano picante y es usada como condimento. Sus hojas verdes son utilizadas en ensaladas, para sazonar alimentos o consumidas como espinacas, también en algunos países se comen los frutos, semillas, hojas y flores como verduras nutritivas así por ejemplo la semilla seca molida es utilizada en algunos lugares como condimento en salsas o también las semillas maduras se consumen tostadas como el maní (Barrera & Bello, 2004).

2.3. HARINA DE TRIGO

Para la obtención de harina de trigo se descartan partes anatómicas externas del grano, con la consiguiente pérdida de valor nutritivo. El 100 por ciento de extracción corresponde a una harina integral y el 70-74 por ciento a una harina blanca comercial. En la harina de menor grado de extracción hay menos proteínas, grasa, cenizas, fibra, vitaminas y minerales, y más carbohidratos digeribles (principalmente almidón) (Hernández & Sastre, 1999). En la Tabla 4 se muestra la composición de la harina de trigo en dos grados de extracción o rendimiento.

Tabla 4: Composición química de la harina de trigo

Componente	Grado de extracción					
	Min ^(a)	72 %	Max ^(a)	Min ^(a)	85 %	Max ^(a)
Humedad	13		15,5	13,0		14,0
Almidón	65,0		70,0	65,0		69,0
Proteínas	8,0		13,0	9,0		13,5
Fibra	Indicios		0,20	0,4		0,90
Grasa	0,8		1,50	1,60		2,00
Azúcar	1,5		2,0	1,50		2,00
Cenizas	0,3		0,6	0,7		0,90

^(a)Porcentajes expresados en base húmeda

FUENTE: Kent (1971)

2.4. TORTAS DE EXTRACCION

Existen dos procesos para la separación del aceite y la parte sólida de la materia. El primer proceso es por el método de prensado mecánico. Este método se basa en la aplicación de presión sobre una masa de productos oleaginosos combinados en bolsas, telas, mallas u otros. Este proceso puede hacerse mediante prensas continuas o discontinuas. El segundo proceso es por el método de extracción por solvente, que elimina los constituyentes no oleosos, como la proteína y la fibra. Prácticamente es el único método para conseguir una extracción casi completa del aceite (Chirinos *et al.*, 2009).

2.4.1. POR PRENSA

Las prensas discontinuas o por cargas, llamadas también hidráulicas, se subdividen en prensas abiertas y de jaula. En prensas abiertas es necesario envolver la materia prima en una tela filtrante especial y la presión que puede aplicarse es limitada. En cambio en las prensas de jaula las presiones son mayores y no se necesita tela debido a las perforaciones de la jaula, que permite el escurrimiento del aceite. En ambos tipos de prensa la presión se ejerce mediante sistema hidráulico o mecánico y entregan una torta compacta. La presión mecánica discontinua proporciona tortas ricas en lípidos de 6 a 12 por ciento. La temperatura de las

semillas no sobrepasa de los 80 °C y la duración de cada prensado varía entre 40 y 60 minutos (Riquelme, 1997).

2.4.2. POR EXPELLER

Para el prensado continuo, se utiliza una prensa de tornillo que consiste en un cilindro metálico horizontal dotado de un tornillo helicoidal de acero inoxidable de paso de rosca decreciente hacia su extremo, esto permite aumentar la presión sobre la pulpa a medida de que ésta avanza por el interior del contenedor. La porción distal de este, es perforada para permitir el paso del aceite extraído. La torta del prensado se elimina a través de una abertura en el contenedor. La presión en el interior del mismo puede regularse ajustando el diámetro de la abertura de descarga, por lo cual la prensa cuenta con discos de diferente diámetro. Además, la prensa posee un sistema de calentamiento de cilindro con el fin de mejorar el rendimiento. La temperatura se eleva hasta 120 °C, el proceso dura solo unos minutos. La torta sale bajo la forma de unas escamas pardas, con un contenido de aceite del 4 – 6 por ciento; es lo que recibe la denominación de expeller (Clavijo, 2004).

2.4.3. POR MEDIO DE SOLVENTES (CONTINUA O DISCONTINUA)

Las semillas calentadas y laminadas en forma de escamas pasan a través de una torre de extracción, en donde la materia grasa se extrae mediante la acción de un solvente volátil, el residuo se calienta y se seca para retirar toda huella del solvente. La temperatura puede llegar a 100 °C o más. En la extracción discontinua, la temperatura es menor y el residuo es blanco. En las tortas, el contenido en lípidos residuales no sobrepasa del 1 por ciento (Piccioni, 1970; citado por Gallegos, 1999).

Con frecuencia suelen asociarse los dos procedimientos, presión y extracción, y los residuos del prensado son sometidos a la acción de los solventes, lo que permite rendimientos más elevados en aceite. La calificación de torta se atribuye vulgarmente a los residuos en general que proceden del desengrasado, cualquiera que sea el origen y el procedimiento industrial de producción (Chirinos *et al.*, 2009).

En la Tabla 5 se muestra la composición de diferentes tortas desengrasadas.

Tabla 5: Composición química en base seca de la torta desengrasada de diferentes productos alimenticios convencionales y no convencionales

Harinas	Proteínas (%)	Grasa (%)	Fibra cruda (%)	Carbohidratos (%)	Cenizas (%)
Avellanas	20,0	4,2	23,5	47,1	5,3
Pescado	65,0	6,7	1,0	3,8	15,0
Arveja	26,1	6,2	1,3	63,5	3,3
Poroto	19,9	1,3	1,5	68,8	8,5
Garbanzo	17,8	0,9	4,1	69,4	7,8
Lenteja	23,0	1,3	1,6	66,7	7,2
Trigo	9,3	0,6	0,1	89,6	0,6
Arroz	7,3	0,3	9,1	82,7	0,6

FUENTE: Valenzuela (2006)

2.5. HARINA DE SEMILLA DE MORINGA

Annongu *et al.* (2014) obtuvieron harina de semilla de moringa mediante el secado al sol de las semillas y posterior molienda, sin desgrasar. El análisis proximal de la harina obtenida se muestra en la Tabla 6.

Sharaf *et al.* (2009) emplearon harina de semilla de moringa (*Moringa peregrina*) desengrasada y desamargada, la cual presentó ciertas características químicas y composición de antinutrientes en comparación con las semillas crudas como se muestra en las Tablas 7 y 8, respectivamente.

En la Tabla 9 se muestra la composición de aminoácidos de la proteína de la harina de semilla de moringa en comparación con el concentrado proteico de soya y la proteína patrón de FAO/WHO.

Tabla 6: Análisis proximal de la harina de semilla de *Moringa oleífera*

Materia seca	90,40 %
Carbohidratos solubles ^(a)	25,80 %
Energía bruta	5,79 kcal/g
Proteína cruda ^(a)	25,37 %
Grasa cruda ^(a)	14,16 %
Fibra cruda ^(a)	30,64 %
Cenizas ^(a)	4,03 %

^(a)Porcentajes expresados en base seca

FUENTE: Annongu *et al.* (2014)

Tabla 7: Análisis proximal de las semillas crudas de moringa y harina de semilla desengrasada y desamargada

Componente	Semillas crudas (%) ^(a)	Harina de semilla desengrasada y desamargada (%) ^(a)
Humedad	3,05	1,58
Proteína cruda	31,27	56,53
Grasa cruda	48,44	1,22
Fibra cruda	3,11	4,80
Cenizas	3,65	5,13
Carbohidratos	10,48	30,74

^(a)Porcentajes expresados en base húmeda

FUENTE: Sharaf *et al.* (2009)

Ramos *et al.* (2010) realizaron una caracterización fisicoquímica a la torta de semilla de moringa obtenida a través de prensa y solventes. En la Tabla 10 se presenta la caracterización granulométrica de torta de moringa. Luego se construyó la gráfica de la distribución del tamaño de partícula de la torta de semilla de moringa como se muestra en la Figura 3.

En la Tabla 11 se presenta la caracterización (elementos iónicos) de la torta y semilla de moringa.

Tabla 8: Contenido de antinutrientes de las semillas crudas de moringa y harina de semilla desgrasada y desamargada

Componente	Semillas crudas	Harina de semilla desgrasada y desamargada
Fenoles totales (mg/100g)	3,09	0,65
Taninos totales (mg/100g)	0,78	N.D ^(a)
Actividad de lectina (HU/10kg)	1910	128
Fitatos (mg/g)	30,60	3,01
Glucósido cianogénico (mg/kg)	14,02	1,21
Saponinas (mg/g)	12,41	N.D
Actividad del inhibidor de tripsina	N.D	N.D

^(a)N.D: no detectado

FUENTE: Sharaf *et al.* (2009)

Tabla 9: Composición de aminoácidos de la proteína de la harina de semilla de moringa, comparado con el concentrado proteico de soya (SPC) y la proteína patrón de FAO/WHO

Amino acids (IAA)	Moringa meal		SPC		FAO/WHO
	g/16gN	A.S*	g/16gN	A.S*	
Lysine	2.42	44	6.11	112	5.44
Leucine	7.53	107	7.70	109	7.04
Isoleucine	4.56	114	4.91	122	4.00
Valine	4.51	91	6.28	127	4.96
Threonine	3.48	87	3.86	97	4.00
Meth +Cyst	6.96	205	2.52	74	3.40
Phen+Tyro	8.09	133	8.49	139	6.08
Tryptophan	1.57	157	1.24	124	1.00

A.S*: Amino acid score.

FUENTE: Sharaf *et al.* (2009)

En la Tabla 12 se muestra la composición química de la torta de moringa (salvado y polvo) obtenida tras una extracción de aceite con solventes.

Tabla 10: Caracterización granulométrica de torta de moringa

Tamiz	Dimensión (mesh)	Dimensión (mm)	Masa retenida (g)
01	16	1,180	22,349
02	30	0,590	32,224
03	40	0,420	17,074
04	60	0,250	15,801
05	100	0,149	18,790
06	200	0,074	17,492

FUENTE: Ramos *et al.* (2010)

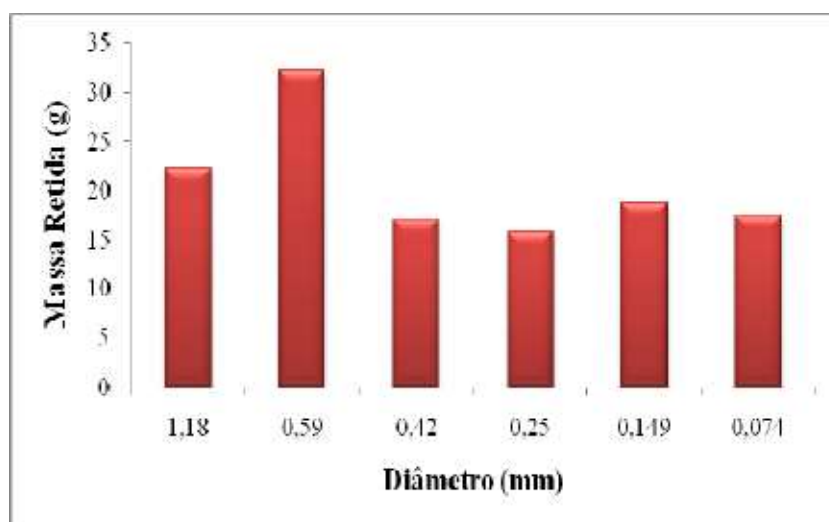


Figura 3: Distribución granulométrica de torta de semilla de moringa

FUENTE: Ramos *et al.* (2010)

La Figura 4 muestra una comparación entre la concentración iónica de algunos elementos con respecto al método de extracción de aceite, donde las concentraciones con prensa son mucho mayores que cuando se realiza la extracción con disolvente.

Tabla 11: Caracterización de la torta (prensado) y de la semilla de moringa

Elemento iónico	Torta de moringa (%)	Semilla de moringa (%)
Ca ⁺²	1,000	0,937
Cl ⁻	0,144	0,083
Fe ^{+3/+2}	0,058	0,054
K ⁺	3,276	2,316
Mg ⁺²	0,159	0,088
Ni ⁺	0,002	0,002
P ⁻³	1,800	1,190
Pd ⁺²	0,032	0,037
Re ⁺⁴	0,000	0,075
S ⁻²	5,687	3,802
Zn ⁺²	0,076	0,000

FUENTE: Ramos *et al.* (2010)**Tabla 12: Composición química de la torta de moringa (extracción con solvente)**

Elemento iónico	Torta de moringa	
	Salvado	Polvo
Na ⁺	11,0 ppm	6,0 ppm
Al ⁺³	8,0 ppm	4,0 ppm
Si ⁺	19,0 ppm	7,0 ppm
Cl ⁻	101,0 ppm	97,0 ppm
Mn ⁺²	5,0 ppm	4,0 ppm
Fe ^{+3/+2}	18,0 ppm	16,0 ppm
Ni ⁺	1,0 ppm	0,0 ppm
Cu ⁺²	3,0 ppm	3,0 ppm
Zn ⁺²	24,0 ppm	21,0 ppm
Cd ⁺²	1,0 ppm	0,0 ppm
Sb ⁺³	6,0 ppm	6,0 ppm
Mg ⁺²	0,13 %	0,13 %
P ⁻³	0,34 %	0,36 %
S ⁻²	0,69 %	0,74 %
K ⁺	0,37 %	0,37 %
Ca ⁺²	0,11 %	0,11 %

FUENTE: Ramos *et al.* (2010)

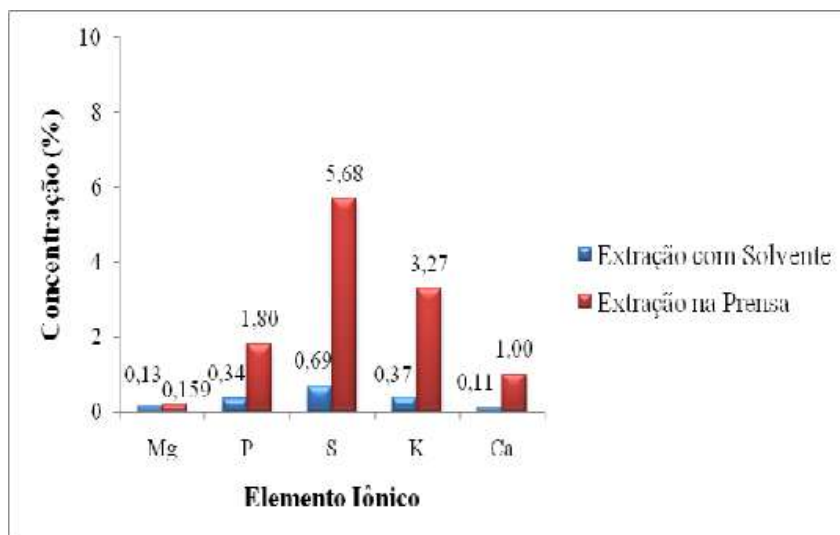


Figura 4: Comparación entre la concentración de algunos elementos iónicos en la torta de semilla de moringa con relación al modo de extracción de aceite

FUENTE: Ramos *et al.* (2010)

2.6. GALLETAS

2.6.1. DEFINICIÓN Y REQUISITOS GENERALES

a. DEFINICIÓN

La NTP 206.001 (Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas [ITINTEC], 1981) indica que las galletas son los productos de consistencia más o menos dura y crocante, de forma variable, obtenidas por el cocimiento de masas preparadas con harina, con o sin leudantes, leche, féculas, sal, huevos, agua potable, azúcar, mantequilla, grasas comestibles, saborizantes, colorantes, conservadores y otros ingredientes permitidos debidamente autorizados.

b. REQUISITOS

Según la NTP 206.001 (ITINTEC, 1981) los requisitos para la elaboración de galletas son:

- Deberán fabricarse a partir de materias sanas y limpias, exentas de impurezas de toda especie y en perfecto estado de conservación.
- Será permitido el uso de colorantes naturales y artificiales autorizados para este tipo de productos.
- Requisitos fisicoquímicos: deberá presentar los siguientes valores, los que se indican como cantidades máximas permisibles:

Humedad	12 %
Cenizas totales (libres de cloruros)	3 %
Índice de peróxido	5 meq O ₂ /kg grasa
Acidez (expresado en ácido láctico)	0,1 %

- Especificaciones Sensoriales: se considera a las características perceptibles por los sentidos, siendo los representativos en las galletas: color, sabor, textura y olor.

2.6.2. FUNCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LOS INGREDIENTES EN EL PROCESO DE GALLETERÍA

a. HARINA DE TRIGO

La harina de trigo es el principal componente en la elaboración de toda clase de productos de pastelería y galletería. La estructura de las galletas proviene de la harina, variando su calidad en base al tipo de galleta a elaborar en la industria, utilizando harinas blandas para el caso de las galletas dulces y harinas fuertes en las galletas con esponja (Kent, 1971).

La harina galletera debe tener un gluten blando, poco tenaz y muy extensible. La masa no debe contraerse, ni arrugarse después de laminada; si la harina resulta demasiado fuerte, provoca contracción de la masa, dando como resultado piezas compactas y reducidas (Fennema, 1996).

Entre otras características, la harina galletera deberá tener como máximo una humedad de hasta 15 por ciento, siendo la extracción apropiada (rendimiento) entre 70 a 72 por ciento con un contenido de cenizas de alrededor de 0,4 por ciento. Las harinas de trigo para el caso de galletas dulces, deben, por lo general oscilar entre 7 a 10 por ciento de proteínas, 10 por

ciento de gluten que es lo que le hace óptimo para el trabajo de pastelería (Kent, 1971).

Con relación al tamaño de partículas de la harina, Bennion (1970) manifiesta en forma muy general, que las harinas finas son preferidas para los productos de pastelería y galletería y las más gruesas para los productos de pan.

b. AZÚCAR

Según Coultate (2007), el azúcar cumple las siguientes funciones:

- Durante la cocción, controla la intensidad de la reacción de Maillard que produce coloraciones morenas en la superficie.
- Tiene un efecto ablandador cuando se le emplea conjuntamente con la grasa.
- Imparte sabor.
- Interviene en el formato o expansión de la galleta según su tipo de granulación.

c. GRASA

Las grasas ocupan el tercer puesto en importancia dentro de los componentes de la industria galletera después de la harina y el azúcar. Las grasas desempeñan una misión antiglutinante en las masas, contribuyen a su plasticidad y su adición suaviza la masa y actúa como lubricante. Además, las grasas juegan un papel importante en la textura de las galletas, ya que las galletas resultan menos duras de lo que serían sin ellas. La grasa contribuye, igualmente, a un aumento de la longitud y una reducción en grosor y peso de las galletas, que se caracterizan por una estructura fragmentable, fácil de romper (Coultate, 2007).

Entre las grasas más empleadas en galletería se tiene la mantequilla, la margarina y las grasas vegetales; esta última ampliamente difundida por su bajo costo y buenas características (Manley, 1989).

d. AGUA Y LECHE

El agua se considera como material de unión que imparte tenacidad a la estructura, e interviene directamente en la formación del gluten. El agua actúa como un catalizador que permite que se produzcan cambios en otros ingredientes, ayudando a producir una textura rígida después de la cocción (Manley, 1989).

La leche es utilizada para comunicar un sabor delicado a la masa, mejorar la textura, el color, la absorción de agua y las propiedades de control de esparcimiento y sabor de los productos horneados (Manley, 1989).

e. AGENTES MENORES

- **Sal**

Las galletas dulces usan cerca de 1 por ciento de sal o menos, mientras que las saladas desde 1 a 1,5 por ciento sin demostrar un sabor salino en el producto. Su función es reforzar el gluten y producir masas menos adherentes (Manley, 1989).

- **Agentes leudantes**

También llamados levaduras químicas, la presencia de estas sustancias sirve para darle a los productos horneados una textura abierta y sedosa; también para darle mayor uniformidad, simetría y volumen; un control parcial del color y sabor mediante regulación de la acidez o alcalinidad (pH) de la masa galletera. El leudante más ampliamente usado es el bicarbonato de sodio, debido a su bajo costo, ausencia de toxicidad, fácil manipulación y gran pureza (Calaveras, 2004).

2.6.3. MÉTODOS EN EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE GALLETAS

Existen tres métodos básicos de elaboración de galletas, los que se diferencian fundamentalmente en el mezclado de las masas dulces, estos son: cremado, mezclado y amasado.

a. MÉTODO DEL CREMADO

Según Charley (1991), este método consiste en mezclar los ingredientes con la grasa a fin de obtener una crema, prosiguiéndose con la adición de la harina, pudiendo realizarse esta operación en dos o tres etapas:

- El de dos etapas consiste en mezclar todos los ingredientes incluyendo el agua con excepción de la harina y el agente químico durante 4 a 10 min de acuerdo al tipo y velocidad del mezclador; posteriormente se añade el bicarbonato de sodio y harina continuando con el mezclado hasta adquirir una consistencia adecuada.
- En el de tres etapas se mezcla la grasa, azúcar, líquido (leche o agua), etc., hasta obtener una crema suave, agregándose el emulsificador y mayor cantidad de agua. Posteriormente se añade la sal, saborizante, colorante, el resto de agua, mezclándose seguidamente con el propósito de mantener la crema y finalmente la harina, los agentes químicos y los otros ingredientes (Charley, 1991).

b. MÉTODO DEL MEZCLADO

Todos los ingredientes son mezclados en una sola etapa incluyendo el agua; parte de la cual se utiliza para disolver los agentes químicos, saborizantes, colorantes prosiguiéndose con el mezclado hasta obtener una masa satisfactoria (Charley, 1991).

c. MÉTODO DEL AMASADO

Según Charley (1991), este método consta de dos etapas: primero, la grasa, azúcar y harinas son mezclados hasta obtener una crema corta. Luego, se añade el agua (y/o leche) conteniendo los agentes alcalinos, sal, etc. mezclándose hasta alcanzar una masa homogénea. En la primera etapa la harina es cubierta con la crema para actuar como una barrera contra el agua, formando el gluten con la proteína.

2.7. DISEÑO DE MEZCLAS

En un diseño de mezcla se asume que la característica medida en el producto final depende

solamente de los porcentajes o proporciones de los ingredientes individuales que están presentes en la formulación, mas no de la cantidad total de la formulación; y por tal motivo está sujeta a cambios si dichos porcentajes o proporciones varían (Cornell, 2002 y Bondari, 2005).

La característica distintiva de un diseño de mezclas es que los factores controlables o independientes representan cantidades proporcionales de la mezcla, donde las proporciones son por volumen, por peso o por fracción molar. Las proporciones son no negativos (Ecuación 1), y si se expresan como fracciones de la mezcla; deben sumar la unidad (Ecuación 2), especialmente si son los únicos ingredientes a ser estudiados en las diferentes mezclas. Si la suma de las proporciones de los componentes es menor que la unidad, por ejemplo, si la suma es igual a 0,8 porque el 0,2 de la mezcla se mantiene constante, y se desea trabajar sólo con las proporciones variables que suman 0,8, entonces dichas proporciones deben ser escritas como fracciones escaladas, de tal forma que estas sumen la unidad (Cornell, 2002).

Claramente si se hace que q represente el número de ingredientes (o constituyentes) en el sistema bajo estudio, y se representa la proporción del i -ésimo componente en la mezcla por x_i , entonces tenemos las siguientes dos ecuaciones (Cornell, 2002):

$$X_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, q \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^q X_i = X_1 + X_2 + \dots + X_q = 1 \quad (2)$$

En virtud de las restricciones sobre los x_i mostradas en las ecuaciones 1 y 2, la descripción geométrica del espacio factorial que contiene a los q componentes, estará compuesta por todos los puntos ubicados sobre o dentro de los límites (vértices, lados, caras, etc.) de una figura geométrica regular de “ q ” vértices (denominada simplex) de $(q-1)$ dimensiones (Cornell, 2002).

Para dos componentes ($q = 2$), el espacio simplex factorial es una línea recta. Con tres componentes ($q = 3$), el espacio simplex factorial es un triángulo equilátero, y para $q = 4$, la región simplex es un tetraedro. La Figura 5 muestra el espacio simplex factorial

para tres componentes (1, 2 y 3), cuyas proporciones están denotadas por x_1 , x_2 y x_3 (Cornell, 2002).

El sistema de coordenadas usado para los valores de x_i , $i = 1, 2, \dots, q$, se denomina *sistema simplex coordinado*, donde la suma de x_i 's suma uno. Con tres componentes, por ejemplo, los vértices del triángulo representan mezclas de componentes puros y están denotados por (1, 0, 0), (0, 1, 0) y (0, 0, 1), es 1 para un componente en particular y 0 para los demás componentes. El interior de los puntos del triángulo representa las mezclas en las cuales ninguno de los componentes está ausente, es decir x_1 , x_2 y x_3 son mayores a cero (Bondari, 2005).

En la Figura 6 muestra las coordenadas del simplex para el punto central (centroide) que contiene iguales proporciones de los tres componentes (1/3, 1/3, 1/3). Los puntos medios de los lados representan puntos binarios. Los puntos interiores del triángulo representan los 3 componentes (Bondari, 2005).

Existen situaciones en las que uno no se encuentra en libertad de explorar el *simplex* en su totalidad, debido a ciertas restricciones adicionales consideradas sobre las proporciones de los componentes. La limitación de la experimentación a una sub región del *simplex* puede darse considerando restricciones relacionadas con los límites inferiores, superiores o incluso de ambos tipos. Si alguna parte del *simplex* es la región a la que uno se confina, y si se es capaz de escoger el diseño y modelos adecuados para dicha sub región, existirá una disminución de costos y tiempo de experimentación; así como un incremento en la precisión de los estimadores del modelo (Cornell, 2002).

Es frecuente encontrar situaciones en las que existen, en forma simultánea, límites inferiores y/o superiores para cada componente integrante de la mezcla. Esta situación se da cuando, por ejemplo, para formar una mezcla se requiere o necesita como mínimo L_i , pero no más de U_i , del componente i (situación representada en la Ecuación 3) y así sucesivamente con algunos o todos los demás componentes. Con q componentes, las restricciones múltiples son escritas como (Cornell, 2002):

$$0 \leq L_i \leq x_i \leq U_i \leq 1, i = 1, 2, \dots, q \quad (3)$$

Cuando solamente una o dos de las proporciones de los componentes están restringidas en valor, la apreciación de la forma del espacio factorial resultante nos ofrece menores dificultades. Sin embargo, si casi todas las proporciones de los componentes están restringidas, tanto inferior como superiormente, el espacio factorial resultante toma la forma de un hiperpoliedro convexo que, por lo general, tiene la forma considerablemente más complicada que el simplex (Cornell, 2002).

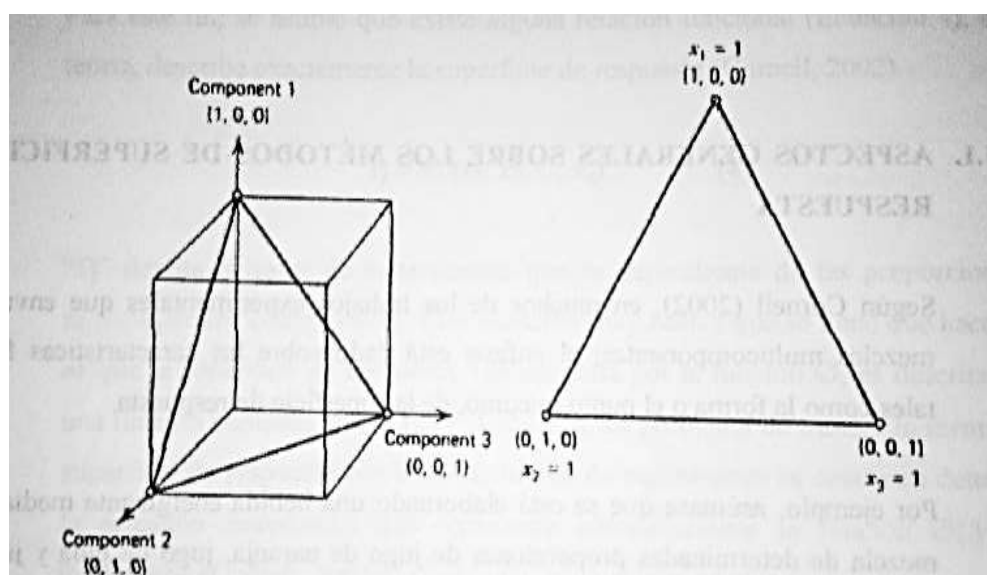


Figura 5: Región Simplex para tres componentes

FUENTE: Cornell (2002)

2.7.1. OPTIMIZACIÓN SIMULTÁNEA DE RESPUESTAS

Un problema común en el desarrollo de un producto es aquel que envuelve la determinación de un conjunto de condiciones (componentes o variables independientes), el cual resulte en un producto con una combinación deseable de propiedades (las variables respuestas) (Derringer & Suich, 1980). El enfoque de la función de deseabilidad para realizar la optimización simultánea de múltiples ecuaciones fue inicialmente descrita por Harrington en 1980. En esencia el enfoque consiste en transformar las funciones a una escala común ([0,1]), combinándose entre ellas por medio de la media geométrica y optimizando la métrica

general. Las ecuaciones pueden representar modelos predictivos u otras ecuaciones. Cuando varias características o respuestas y_1, y_2, \dots, y_k han sido modeladas, considerando las proporciones del mismo grupo de q componentes, se tienen por lo general la forma de una función polinomial representada en la Ecuación 4 (Kuhn, 2016):

$$\hat{Y}_i = f_i(x_1, x_2, \dots, x_q) \quad i = 1, 2, \dots, k \quad (4)$$

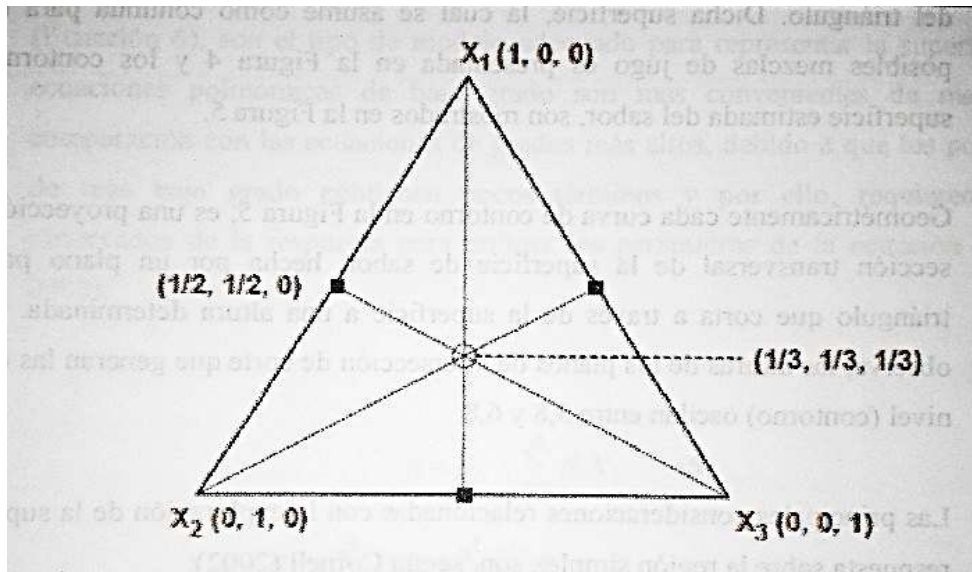


Figura 6: Diseño Triangular para mezcla de 3 componentes

FUENTE: Bondari (2005)

La función de deseabilidad involucra la transformación de cada una de las variables respuesta estimadas \hat{Y} a un valor de deseabilidad d_i , donde $0 \leq d_i \leq 1$. Los valores individuales de d_i son combinados entre ellos por medio del promedio geométrico para dar el valor de Deseabilidad Global (D) representado en la Ecuación 5 (Derringer & Suich, 1980):

$$D = (d_1 \times d_2 \times \dots \times d_k)^{1/k} \quad (5)$$

El valor de D cae en el rango de $[0,1]$ y será mayor a medida que el balance de las propiedades se vuelva más favorable; por lo que si $D = 0$; entonces el producto es inaceptable (Derringer & Suich, 1980).

III. METODOLOGÍA

3.1. LUGAR DE EJECUCIÓN

El trabajo de investigación se realizó en los laboratorios de Biotecnología, Evaluación Sensorial, Investigación e Instrumentación, Planta Piloto de Alimentos y Productos Agropecuarios (TAPA) pertenecientes a la Facultad de Industrias Alimentarias, en el Bioterio, Laboratorio de Evaluación Nutricional de Alimentos (LENA) de la Facultad de Zootecnia y en La Molina Calidad Total Laboratorios; instalaciones pertenecientes a la Universidad Nacional Agraria La Molina.

3.2. MATERIA PRIMA E INSUMOS

3.2.1. MATERIA PRIMA

Se emplearon tortas resultantes de la extracción de aceite de semilla de moringa (*Moringa oleífera*), una obtenida por prensa y otra por expeller (ver Anexo 1).

3.2.2. INSUMOS

- Harina de trigo galletera de Molicentro
- Azúcar blanca refinada marca Dulcinita
- Manteca vegetal marca Tropical
- Sal marca Emsal
- Leche descremada en polvo de Insumos y Soluciones
- Bicarbonato de sodio de Insumos y Soluciones
- Agua marca Vida
- Lecitina de soya de Frutarom Perú

- Esencia de vainilla marca Negrita

3.3. MATERIALES Y EQUIPOS

3.3.1. MATERIALES

- Beakers de 50, 100, 250 y 1000 mL
- Fiolas de 100, 250 y 1000 ml
- Pipetas de 5, 10 y 25 ml
- Matraces de 125 y 250 ml
- Probetas de 100 ml
- Buretas de 25 ml
- Balones de digestión Kjeldahl
- Crisoles de porcelana
- Desecadores
- Termómetro (rango de -10 a 150 °C)
- Agitador magnético
- Papel filtro Whatman N° 93
- Tamices Tyler malla N° 32, 35, 48, 60, 100 y 170
- Tela poliseda
- Moldes y laminadora para galletas
- Bolsas de polipropileno
- Material necesario para las pruebas de evaluación sensorial como formatos de encuestas, platos descartables, vasos, lapiceros, etc.

3.3.2. EQUIPOS

- Balanza analítica marca Sartorius, capacidad máxima 210g
- Balanza electrónica marca Ohaus, capacidad máxima 6000g
- Balanza infrarroja marca Ohaus
- Potenciómetro digital marca Hanna
- Cocinilla eléctrica

- Molino mortero eléctrico, 1 velocidad
- Campana extractora eléctrica marca Esco
- Digestor de proteínas marca Reles, capacidad 6 balones
- Destilador de nitrógeno marca UDK 129
- Equipo Soxhlet marca Gerhardt
- Mufla eléctrica marca Gallenkamp
- Estufa eléctrica marca Esco
- Agitador de tamices Rotap
- Batidora amasadora marca KitchenAid, 10 velocidades
- Horno eléctrico rotativo marca Nova
- Texturómetro Stable Micro Systems TA.XT plus

3.3.3. REACTIVOS

- Ácido sulfúrico marca J.T. Baker
- Ácido clorhídrico marca J.T. Baker
- Ácido bórico marca Himedia
- Éter de petróleo marca J.T. Baker
- Éter etílico marca J.T. Baker
- Hidróxido de sodio marca Fermont
- Metanol marca J.T. Baker
- Etanol marca J.T. Baker
- Butanol marca J.T. Baker
- Cloruro de sodio marca Fermont
- Bicarbonato de sodio marca Fermont
- Carbonato de sodio marca Fermont
- Ioduro de potasio marca Sigma Aldrich
- Tiocianato de amonio marca Merck
- Cloruro férrico marca Sigma Aldrich
- Tolueno marca Sigma Aldrich
- Timol marca Merck
- Ácido acético marca J.T. Baker

- Cloroformo marca J.T. Baker
- Tiosulfato de sodio marca Fermont
- Almidón marca Fermont
- Estándar de aminoácidos marca Sigma Aldrich

3.3.4. SOFTWARE

- *Software* estadístico Design Expert® versión 10.0.2 de la Corporación Stat-ease.

3.4. MÉTODOS DE ANÁLISIS

3.4.1. ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS

a. ANÁLISIS PROXIMAL:

- Humedad: Método de la AOAC 934.06 (Association of Official Analytical Chemists [AOAC], 2012)
- Cenizas: Método de la AOAC 940.26 (AOAC, 2012)
- Fibra bruta: Método de la AOAC 935.53 (AOAC, 2012)
- Proteína bruta: Método de la AOAC 920.152 (AOAC, 2012)
- Grasa bruta: Método de la AOAC 948.22 (AOAC, 2012)

b. ANÁLISIS DE ANTINUTRIENTES:

- Fitatos: se utilizó la metodología de Anhwange *et al.* (2004), se pesó 4 g de muestra y se trató con 100 ml de ácido clorhídrico al 2 por ciento con agitación constante por 5 horas y se filtró; 25 ml de filtrado se colocó en un matraz y se añadió 5 ml de tiocianato de amonio al 0,3 por ciento. La mezcla se tituló con una solución estándar de cloruro de hierro III hasta la persistencia de un color rojo ladrillo por 5 minutos.
- Saponinas: se utilizó la metodología de Anhwange *et al.* (2004), se pesó 10 g de muestra y se mezcló con 100 ml de etanol al 20 por ciento con agitación constante durante 12 horas a 55 °C, luego se filtró y el residuo se volvió a extraer con 200 ml de etanol al 20 por ciento. Los extractos se mezclaron y se redujeron

aproximadamente a 40 ml al vacío. El extracto y 20 ml de éter etílico se vertieron en un embudo de separación y se agitó vigorosamente, desechándose la capa apolar. El pH de la solución acuosa remanente se ajustó a 4,5 mediante la adición de HCl 0,1 N y después la solución se agitó sucesivamente con porciones de 60 y 30 ml de n-butanol. El extracto butanólico se lavó dos veces con 10 ml de cloruro de sodio acuoso al 5 por ciento, después se evaporó a sequedad en una campana extractora para dar la saponina que se pesó y expresó como porcentaje.

- c. POTENCIAL DE HIDRÓGENO (PH): Método de la NTP 206.014 (ITINTEC, 1981)
- d. ACIDEZ TITULABLE: Método de la NTP 206.013 (ITINTEC, 1981)
- e. ÍNDICE DE PERÓXIDO: Método de la NTP 206.016 (ITINTEC, 1981)
- f. PERFIL DE AMINOÁCIDOS: según el método de la AOAC 920.87 (AOAC, 2012) se determinó mediante HPLC. La muestra diluida con HCl 6N (1:15) fue hidrolizada durante 24 horas a 110 °C, una vez enfriado a temperatura ambiente se hizo una dilución de la muestra hidrolizada con agua destilada (3:5), luego fue centrifugado y filtrado. Posteriormente se tomó un volumen del filtrado y se analizó por el HPLC. Se realizó la lectura de los aminoácidos tomando en consideración los aminoácidos estándar, por un tiempo de 55 minutos a una temperatura de 40 °C.
- g. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO: según el método de la AACC 55-60 (American Association of Cereal Chemist [AACC], 1995) se utilizó un sistema de tamices Tyler malla N° 32, 35, 48, 60, 100 y 170 y un plato o bandeja final. Se colocaron los tamices en forma superpuesta, depositándose en el tamiz superior 100 g de harina y se zarandó eléctricamente por 5 minutos para que cada tamiz deje pasar todas las partículas de harina, según su abertura. Los datos obtenidos permitieron conocer el Módulo de Finura, el Índice de Uniformidad, el tamaño de partícula y la distribución de tamaños de los productos pulverulentos.
- h. DETERMINACIÓN DE GLUTEN: se utilizó la metodología propuesta por Kirk & Sawyer (1987), se pesó 10 g de harina y se añadió 5,5 ml de solución de cloruro de sodio al 2 por ciento, todo junto se amasó en un mortero hasta formar una pequeña

masa. Luego, se lavó con agua corriente para quitar todo el almidón hasta que deje de caer gotas de agua color blancuzco. Para evitar que se pierdan partículas de gluten se colocó debajo un tamiz N° 100 que dejó pasar el agua cargada de almidón y retuvo las partículas de gluten. Ya limpio el gluten, se pesó y se expresó el resultado como gluten húmedo, posteriormente se llevó a una estufa a 100 °C durante 1 hora y se pesó para hallar el porcentaje de gluten seco.

- i. **FACTOR DE EXPANSIÓN DE LA GALLETA (FE):** se determinó según el método de la AACC 10-50 (AACC, 1995), las galletas fueron medidas con un vernier a los 30 minutos después de la salida del horneado, enfriadas a temperatura ambiente. Se midió el diámetro de seis galletas colocadas una a lado de otra, luego se rotaron 90° volviendo a medir el diámetro total y se obtuvo un promedio de las dos medidas anteriores y se dividió entre seis, teniendo así el valor de diámetro promedio (D); para hallar el espesor se apilaron seis galletas midiendo el espesor total y dividiendo entre seis para obtener el valor de espesor promedio (E). La división de diámetro (D)/ espesor (E) dio por resultado el factor de expansión de la galleta.

- j. **DUREZA:** se evaluó en las galletas dentro de las 24 a 48 horas después de elaboradas, según la metodología propuesta por American Institute of Baking [AIB] (s.f.) mediante la prueba de quiebre de 3 puntos. Las muestras se colocaron en una misma orientación en la plataforma de quiebre del texturómetro, el pico de la curva que arroja el equipo indicó la dureza de la galleta. Se aplicaron los siguientes datos:
 - Carga: 20 g
 - Velocidad de la prueba: 2 mm/s
 - Distancia entre los soportes inferiores: la mitad del diámetro de la galleta.

3.4.2. EVALUACIÓN SENSORIAL

Las galletas dulces fueron evaluadas 24 horas después del horneado, en el horario de 10 a.m. a 12m mediante una Prueba de Grado de Satisfacción respecto a la Aceptabilidad General (ver Anexo 2), utilizándose una escala hedónica no estructurada (escala lineal de 12 cm) cuyos extremos tuvieron denominaciones de “me gusta mucho” y “me disgusta mucho”

(Pedrero & Pangborn, 1996). Se contó con 50 panelistas no entrenados en edades comprendidas entre 18 y 35 años, quienes hicieron una marca vertical en el punto que representó su valoración en la escala lineal para cada muestra. La escala lineal de 12 cm se convirtió en numérica transformando a centímetros la distancia desde el extremo mínimo hasta el punto de respuesta indicado por el panelista dividido entre 12 y multiplicado por 10.

3.4.3. PRUEBA BIOLÓGICA

Se realizó la Prueba de Valor Biológico Verdadero según la metodología propuesta por Miller & Bender (1955), se emplearon 12 ratones de 20 días de nacidos de la raza Holtzman, seis de ellos alimentados con la dieta experimental (proteica) y los otros seis, con dieta apteica (control).

El periodo de adaptación de los animales duró 4 días y consistió en la alimentación con la dieta experimental, con el objetivo de eliminar totalmente el contenido intestinal de dietas anteriores. Pasado este periodo se acondicionaron las jaulas metabólicas con sus respectivos embudos colectores de heces y tubos de ensayo para la recolección de la orina, a cada tubo se agregó cuatro gotas de tolueno con el fin de conservar el nitrógeno urinario, así mismo se colocaron hojas debajo de cada jaula para recolectar el alimento no consumido, pesar y cuantificar el desperdicio, luego se suministró la dieta experimental.

El efecto de la dieta se evaluó durante los 6 días siguientes, anotando cuidadosamente el peso de cada rata, el peso de la ración servida, el desperdicio, recolectándose y cuantificando también la orina y las heces. Las heces fueron almacenadas con 100 mg de timol en solución para conservación del nitrógeno, en tubos de ensayo y refrigeradas para su posterior análisis.

El periodo de análisis duró en total, 10 días. Finalmente se determinó la cantidad de nitrógeno en las heces y orina mediante los métodos de la AOAC (2012) y se hicieron los cálculos respectivos para hallar el Valor Biológico verdadero (ver Anexo 3).

3.5. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.5.1. OBTENCIÓN DE HARINA DE TORTA DE SEMILLA DE MORINGA OBTENIDA POR PRENSA (HP) Y POR EXPELLER (HE)

Para la obtención de harinas según se observa como resultado en el Anexo 4, cada torta de semilla de moringa obtenida por prensa y por expeller, se terminaron de desengrasar con un equipo Soxhlet y éter de petróleo como solvente.

Luego, se realizó el tratamiento de desamargado a cada torta de acuerdo a lo sugerido por Sharaf *et al.* (2009) y Aguilar *et al.* (2012), este flujo de operaciones se muestra en la Figura 7.

Las principales operaciones para la obtención de harinas de tortas de semilla de moringa obtenidas por prensa y por expeller fueron:

- **Lixiviación:** se realizó en cada torta (con humedad < 12 por ciento), fueron inmersas en etanol al 95 por ciento en una relación de MP: solvente de 1:5, con agitación continua durante 2 horas a 70 °C.
- **Filtrado:** cada torta fue filtrada en caliente en tela poliseda.
- **Lavado:** se realizaron lavados continuos con agua a 100 °C durante 1 hora.
- **Filtrado:** cada torta tratada fue filtrada nuevamente con tela poliseda.
- **Secado:** cada torta fue secada en un equipo de bandejas a una temperatura de 60 °C durante 24 horas hasta lograr una humedad menor a 16 por ciento según la NTP 205.040 (ITINTEC, 1981).
- **Molienda:** se procedió a la disminución del tamaño de partícula empleando un molino mortero eléctrico.
- **Tamizado:** con el fin de uniformizar la harina tratada se utilizó un tamiz N° 100 (150 µm).

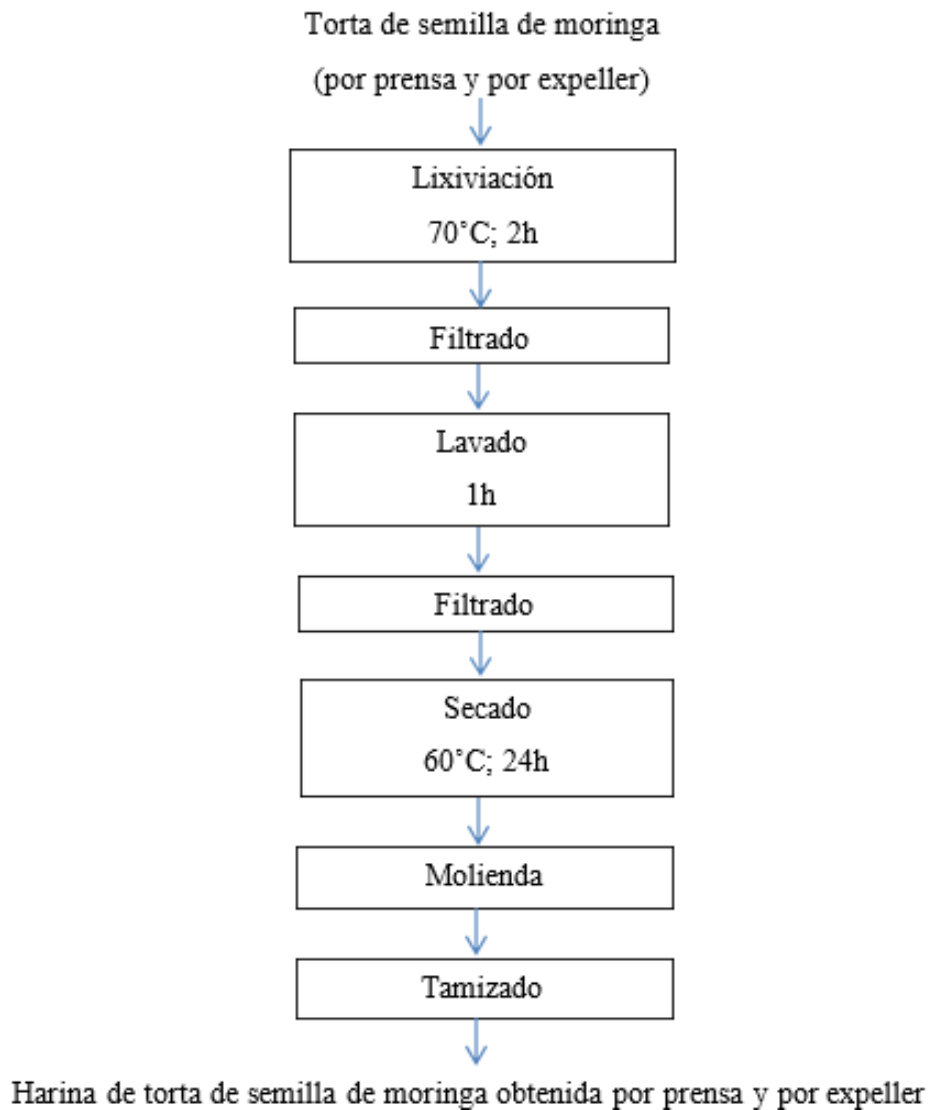


Figura 7: Flujo de operaciones para obtener harina de torta de semilla de moringa obtenida por prensa y por expeller

3.5.2. ELABORACIÓN DE GALLETAS DULCES CON SUSTITUCIÓN DE HARINA DE TORTA DE SEMILLA DE MORINGA OBTENIDA POR PRENSA Y POR EXPELLER

Se utilizó el método de cremado de 3 etapas, el proceso y los parámetros para la elaboración de galletas se detallan a continuación:

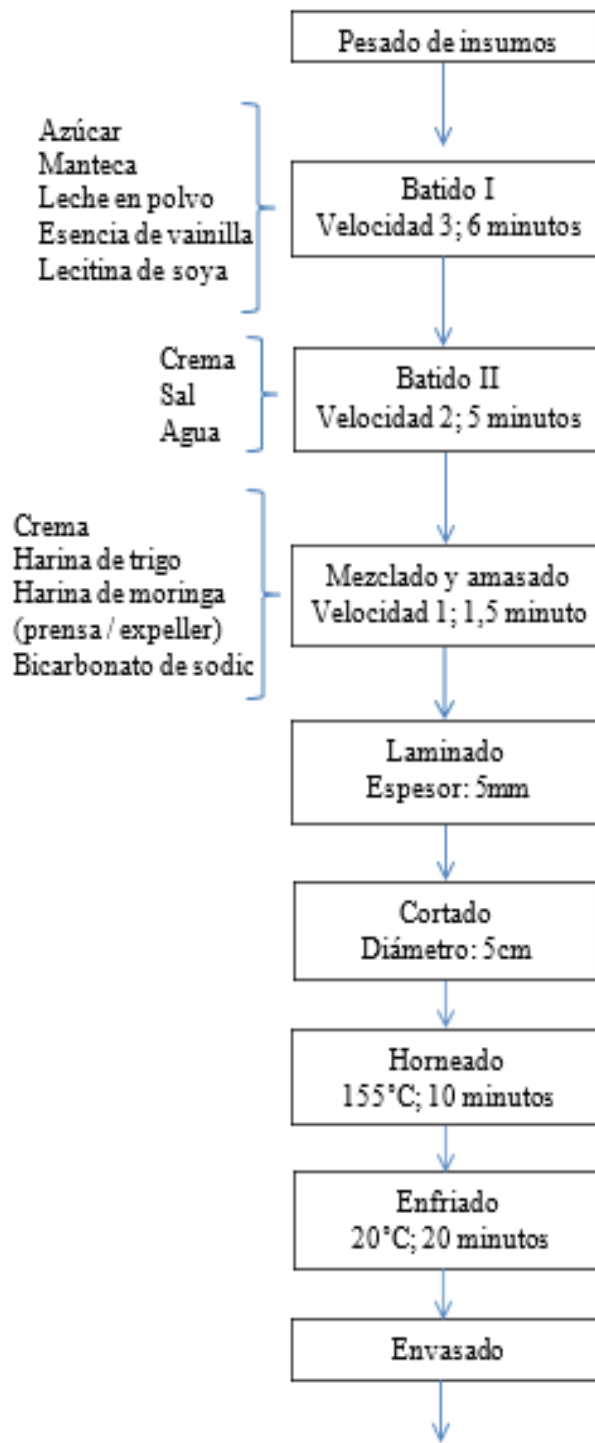
- **Pesado de insumos:** se pesó la materia prima con la finalidad de determinar rendimientos.

- **Batido I:** esta operación consistió en formar una emulsión de grasa (manteca) y azúcar junto a la lecitina, esencia de vainilla y leche en polvo durante 6 minutos a una velocidad 3 y se realizó en una batidora KitchenAid.
- **Batido II:** a la mezcla anterior se añadió agua y sal y se batió durante 5 minutos a una velocidad 2.
- **Mezclado y amasado:** se mezcló el cremado junto con el bicarbonato de sodio y las harinas correspondientes hasta obtener una masa homogénea durante 1,5 minuto a una velocidad 1.
- **Laminado:** se extendió la masa en una laminadora hasta obtener una lámina de grosor de 5 mm.
- **Cortado:** se obtuvieron las porciones de masa con moldes metálicos de forma circular con un diámetro de 5 cm cada una, colocándose las mismas en papel manteca sobre las bandejas de horneado.
- **Horneado:** esta operación consistió en colocar las bandejas con las porciones de masa moldeadas al horno previamente calentado a la temperatura de 155 °C por 10 minutos.
- **Enfriado:** una vez horneadas las galletas se sacaron del horno y se enfriaron a temperatura ambiente (20 °C) durante 20 minutos.
- **Envasado:** se procedió a colocar las galletas en bolsas de polipropileno.

En la Figura 8 se muestra el flujo de operaciones para la elaboración de galletas dulces con sustitución de harina de trigo por harina de torta de semilla de moringa obtenida por prensa y por expeller.

3.6. DISEÑO EXPERIMENTAL

En la Figura 9 se muestra el diseño experimental de la investigación, cada etapa se explica a continuación:



Galletas dulces con harina de torta de semilla de moringa obtenida por prensa y por expeller

Figura 8: Flujo de operaciones para la elaboración de galletas dulces con sustitución de harina de trigo por harina de torta de semilla de moringa obtenida por prensa y por expeller

3.6.1. CARACTERIZACIÓN DE LAS TORTAS DE SEMILLA DE MORINGA OBTENIDAS POR PRENSA Y POR EXPELLER

En esta etapa se realizaron los siguientes análisis:

- Análisis proximal
- Análisis de antinutrientes: fitatos y saponinas

3.6.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS HARINAS DE TORTAS DE SEMILLA DE MORINGA OBTENIDAS POR PRENSA Y POR EXPELLER

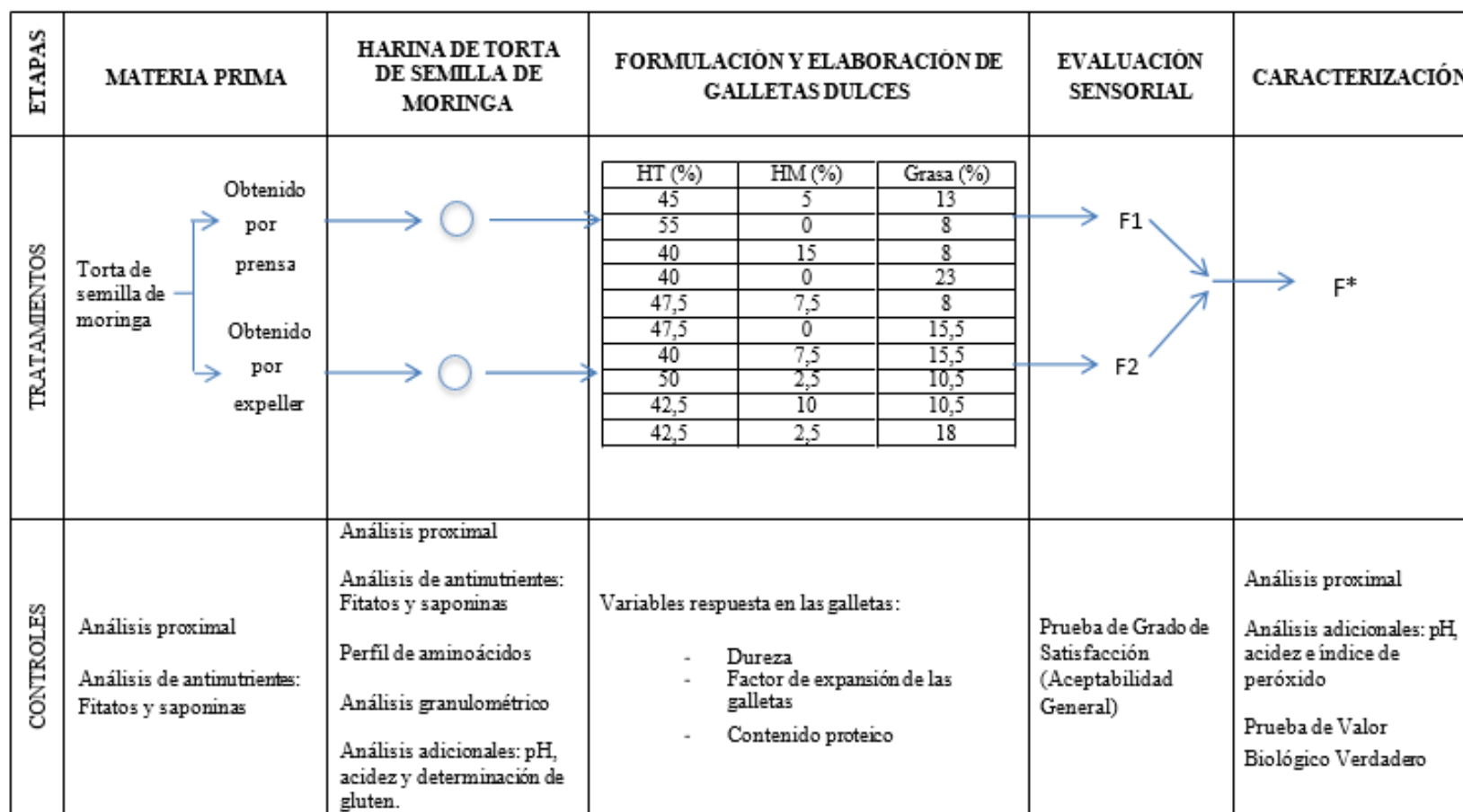
A cada harina se realizaron los siguientes análisis:

- Análisis proximal
- Análisis de antinutrientes: fitatos y saponinas
- Perfil de aminoácidos
- Análisis granulométrico
- Análisis adicionales: pH, acidez y determinación de gluten

3.6.3. FORMULACIÓN DE GALLETAS DULCES

Para determinar la composición de las formulaciones con cada harina de torta de semilla de moringa (obtenida por prensa y por expeller) se utilizó el método de Diseño de Mezclas Simplex Lattice, se aplicaron tres factores: porcentaje de harina de trigo, porcentaje de harina de torta de semilla de moringa (por prensa / por expeller) y porcentaje de grasa, determinando también las restricciones mínimas y máximas para cada uno de los factores.

En la Tabla 13 se indica la fórmula propuesta por la AACCC (1995) y la fórmula patrón adaptada para la presente investigación.



F: Formulación mediante el diseño de mezclas

F*: Mejor formulación

Figura 9: Esquema Experimental para la obtención de galletas dulces con inclusión de harina de torta de semilla de moringa

Tabla 13: Fórmula de la AACC y fórmula patrón usada en la presente investigación

Insumo	AACC	Patrón
Harina de trigo	46,9%	47,5%
Manteca	13,3%	15,5%
Matriz Variable		63%
Azúcar	27,1%	23,0%
Sal	0,4%	0,6%
Leche descremada en polvo	1,3%	1,5%
Bicarbonato de sodio	0,5%	0,6%
Agua	10,5%	10,5%
Lecitina	0,0%	0,4%
Esencia de vainilla	0,0%	0,4%
Matriz Fija		37%
TOTAL	100,0%	100,0%

En las formulaciones, los factores (insumos) que variaron representaron el 63 por ciento del total. Los factores fueron restringidos como se muestra en la Tabla 14.

Tabla 14: Restricciones sobre los factores

Factores	Restricciones (%)
Porcentaje de harina de trigo	$40 \leq P1 \leq 55$
Porcentaje de harina de torta de semilla de moringa (prensa o expeller)	$0 \leq P2 \leq 15$
Porcentaje de grasa (manteca vegetal)	$8 \leq P3 \leq 23$

Posteriormente, considerando el porcentaje total y las restricciones determinadas, se utilizó el *software* estadístico Design Expert® versión 10.0.2 de la Corporación Stat-ease. De esta manera se obtuvieron diez formulaciones para cada harina de moringa obtenida por prensa y por expeller. Los porcentajes de los factores para cada una de las diez formulaciones se detallan en la Tabla 15 y las formulaciones completas para la elaboración de galletas se

muestran en la Tabla 16. Finalmente las galletas obtenidas se muestran en el Anexo 5.

Tabla 15: Porcentaje de los factores en las diez formulaciones

Formulación	HT (%)	HM (%)	Grasa (%)
F1	45	5	13
F2	55	0	8
F3	40	15	8
F4	40	0	23
F5	47,5	7,5	8
F6	47,5	0	15,5
F7	40	7,5	15,5
F8	50	2,5	10,5
F9	42,5	10	10,5
F10	42,5	2,5	18

Donde:

HT: harina de trigo

HM: harina de torta de semilla de moringa (por prensa/ por expeller)

G: grasa (manteca vegetal)

a. SELECCIÓN DE LAS DOS MEJORES FORMULACIONES DE GALLETAS DULCES

Posterior a la elaboración, las galletas fueron evaluadas en: dureza, factor de expansión de la galleta y contenido proteico (variables respuesta).

Para determinar la mejor formulación de galleta con cada harina de torta de semilla de moringa obtenida por prensa y por expeller, se realizó la optimización simultánea de las variables respuesta teniendo en cuenta la metodología de la Deseabilidad Global, descrita por Derringer & Suich (1980), con ello se obtuvieron dos formulaciones óptimas.

El objetivo de esta optimización fue encontrar una formulación que cumpla con las siguientes restricciones de las variables respuesta:

- Dureza: restricción en el rango de 1000 – 3000 gf (d1)

Se eligió como una de las variables respuesta debido a que ésta junto al sabor y la apariencia son los principales atributos de calidad de las galletas (Mandala *et al.*, 2006).

- Factor de expansión de la galleta: restricción en el rango de 81 – 100 por ciento (d2)

Se eligió esta variable respuesta debido a que es el método más utilizado para evaluar las propiedades funcionales de harinas suaves para la elaboración de galletas (recomendado por la AACCC, 1995), este factor se determina por la relación diámetro/espesor. Coca (1986) citado por Beltrán & Puerto (2006) establece un rango para este factor de expansión (FE):

$$FE = (\text{Factor galletero de la muestra} / \text{factor galletero del patrón}) \times 100$$

≥ 90 Excelente, 81 – 90 Satisfactorio, 71 – 80 Cuestionable, < 70 Insatisfactorio

Donde:

Factor galletero: relación diámetro/espesor

Muestra: cada una de las formulaciones

Patrón: formula patrón de la Tabla 13

- Contenido proteico: maximización de este parámetro (d3)

El valor denominado Deseabilidad Global (D) representó la media geométrica de los valores de las deseabilidades individuales, es decir:

$$D = (d_1 \times d_2 \times d_3)^{1/3}$$

La formulación de la galleta seleccionada con cada harina de moringa fue aquella que tuvo el mayor valor de D. Luego de conocidas las dos mejores formulaciones y los valores teóricos de las variables respuesta que arrojó el *software* Design Expert, se realizó una prueba experimental para validar los datos y calcular la variabilidad entre los datos teóricos y experimentales.

3.6.4. EVALUACIÓN SENSORIAL DE LAS DOS MEJORES FORMULACIONES DE GALLETAS DULCES

Las dos mejores formulaciones de galletas dulces (ver Anexo 6): una galleta con harina de moringa obtenida por prensa (HP) rotulada con el número 174 y otra galleta con harina de moringa obtenida por expeller (HE) rotulada con el número 325 se sometieron a evaluación sensorial de acuerdo al ítem 3.4.2.

3.6.5. CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO FINAL

Luego de la evaluación sensorial, a la galleta dulce con mayor aceptabilidad general, se le realizaron los siguientes análisis:

- Análisis proximal
- Análisis adicionales: pH, acidez e índice de peróxido
- Prueba de Valor Biológico Verdadero

3.7. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizó en diferentes etapas de la investigación:

3.7.1. EN LA CARACTERIZACIÓN DE LAS TORTAS DE SEMILLA DE MORINGA OBTENIDAS POR PRENSA Y POR EXPELLER

Los resultados del análisis proximal y análisis de antinutrientes (fitatos y saponinas) de las materias primas fueron representados con el promedio de tres repeticiones y su desviación estándar.

3.7.2. EN LA CARACTERIZACIÓN DE LAS HARINAS DE LAS TORTAS DE SEMILLA DE MORINGA OBTENIDAS POR PRENSA Y POR EXPELLER

Los resultados del análisis proximal, análisis de antinutrientes (fitatos y saponinas), perfil

de aminoácidos, pH, acidez y gluten fueron reportados con el promedio de tres repeticiones y su desviación estándar.

3.7.3. EN LA FORMULACIÓN DE GALLETAS DULCES

Las variables respuesta (dureza, factor de expansión de la galleta y contenido proteico) evaluadas en cada formulación fueron reportadas con el promedio de tres repeticiones. Con los resultados obtenidos se realizó un análisis de regresión múltiple (método de mínimos cuadrados), con la finalidad de obtener el polinomio canónico de Scheffé que describe la dependencia de cada una de las variables respuesta en función de los factores en estudio (porcentaje de harina de trigo, harina de torta de semilla de moringa y grasa) (Cornell, 2002).

La determinación de dicho polinomio, así como su respectivo análisis de varianza y prueba de significancia de coeficientes (nivel de significación $\alpha = 0.05$), fueron llevados a cabo mediante la utilización del *software* Design Expert. En el ANVA, mediante la prueba F de Fisher se establecieron las significancias estadísticas del modelo y sus coeficientes, debiéndose registrar un valor de probabilidad (Prob > F) menor a 0,05.

a. EN LA SELECCIÓN DE LAS DOS MEJORES FORMULACIONES DE GALLETAS DULCES

Después de obtenidos las ecuaciones (polinomios canónicos de Scheffé) para cada una de las variables respuesta, se procedió a la optimización simultánea de las mismas mediante la metodología de la Deseabilidad Global con el uso del *software* Design Expert. Asimismo se consideró a las variables respuestas con el mismo peso ya que tienen igual importancia.

Luego de que el *software* Design Expert, arrojó la mejor formulación para cada harina de moringa obtenida por prensa y por expeller, y las variables respuesta teóricas de ambas formulaciones, se procedió a realizar la validación de las variables respuesta, determinando la variabilidad porcentual que existía entre los valores experimentales y teóricos.

3.7.4. EN LA EVALUACIÓN SENSORIAL DE LAS DOS MEJORES FORMULACIONES

Los resultados de la evaluación sensorial se analizaron mediante la prueba paramétrica t de Student de dos colas con un nivel de significancia de $\alpha = 0,05$ (ver Anexo 7); herramienta que trabaja con datos continuos extraídos de la escala hedónica lineal. Esta prueba se usó para comparar y determinar si existía diferencia significativa entre las dos mejores formulaciones de galletas dulces.

3.7.5. EN LA CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO FINAL

Los resultados del análisis proximal, pH, acidez e índice de peróxido fueron reportados con el promedio de tres repeticiones y su desviación estándar. Y el valor biológico verdadero fue obtenido de una ecuación con datos que previamente fueron promedio de tres repeticiones.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. CARACTERIZACIÓN DE LAS TORTAS DE SEMILLA DE MORINGA OBTENIDAS POR PRENSA Y POR EXPELLER

4.1.1. COMPOSICIÓN PROXIMAL

En la Tabla 17 se presentan los resultados del análisis proximal de las tortas de semilla de moringa (*Moringa oleífera*), obtenidas por prensa y por expeller.

Tabla 17: Composición proximal de las tortas de semilla de moringa obtenidas por prensa y por expeller

Componente (g/100 g muestra)	Prensa		Expeller	
	Base húmeda	Base seca	Base húmeda	Base seca
Humedad	9,33 ± 0,05	---	6,67 ± 0,02	---
Proteína	51,88 ± 0,19	57,22 ± 0,21	47,48 ± 0,20	50,87 ± 0,21
Grasa	19,28 ± 0,10	20,66 ± 0,11	15,40 ± 0,50	16,50 ± 0,53
Fibra	2,46 ± 0,07	2,71 ± 0,08	9,10 ± 0,002	9,76 ± 0,002
Cenizas	4,76 ± 0,03	5,25 ± 0,03	5,12 ± 0,02	5,48 ± 0,02
Carbohidratos	12,29	14,16	16,23	17,39

La torta de semilla de moringa obtenida por prensa presentó una humedad de 9,33 por ciento, similar al 9,60 por ciento reportado por Annongu *et al.* (2014), sin embargo, este autor reporta contenidos de 25,37; 14,16; 30,64; 4,03 por ciento de proteína, grasa, fibra y cenizas, respectivamente, valores diferentes a los obtenidos en esta investigación, posiblemente se deba a la procedencia y acondicionamiento de la semilla. Al respecto, Annongu *et al.* (2014) trabajaron con semilla procedente de Nigeria y el acondicionamiento fue secar la semilla al sol y posterior molienda para la obtención de harina; en esta investigación, la semilla procedió de Ica y el acondicionamiento incluyó una molienda, tamizado y prensado.

La humedad de la torta de moringa obtenida por prensa (9,33 por ciento) es mayor que la torta obtenida por expeller (6,67 por ciento), probablemente a que en el segundo tipo de extracción, la semilla es sometida a calentamiento (100 °C por 10 minutos) lo que genera una disminución de humedad del residuo o torta.

Los contenidos de proteína en la torta de moringa obtenida por prensa y por expeller fueron 51,88 y 47,48 por ciento, respectivamente. Oliver *et al.* (2006) menciona que en el procesamiento de extracción de tortas con calor se produce un daño de la proteína, razón por la cual la torta extraída por expeller presenta menor cantidad de proteína que la torta obtenida por prensa. Además, Oliver *et al.* (2006) indican que el daño de la proteína por efecto del calor produce una torta de color café oscuro, resultados que fueron corroborados en esta investigación como se observa en el Anexo 1.

4.1.2. DETERMINACIÓN DE ANTINUTRIENTES

Los análisis de antinutrientes (fitatos y saponinas) que se realizaron a cada una de las tortas obtenidas por prensa y por expeller se muestran en la Tabla 18.

Tabla 18: Análisis de antinutrientes de las tortas de semilla de moringa obtenidas por prensa y por expeller

Componente (g/100g muestra)	Prensa		Expeller	
	Base húmeda	Base seca	Base húmeda	Base seca
Fitatos	3,70 ± 0,20	4,08 ± 0,22	4,80 ± 0,25	5,14 ± 0,27
Saponinas	1,85 ± 0,18	2,04 ± 0,19	3,01 ± 0,20	3,23 ± 0,21

Los resultados obtenidos difieren de los reportados en otras tortas de oleaginosas, según Aguilera (2014) la torta de ajonjolí, canola y soya presentan $4,3 \pm 0,1$; $3,7 \pm 0,3$ y $2,6 \pm 0,2$ por ciento de ácido fítico, respectivamente. Es necesario indicar que en esta investigación solo se analizó como antinutrientes a fitatos y saponinas porque son los que están en mayor cantidad según Sharaf *et al.* (2009). D'Melo (2000) mencionan que la variabilidad en la cuantificación de antinutrientes en las tortas o pastas de oleaginosas se debe a las técnicas empleadas en su determinación, a la variedad de la semilla, así como al tratamiento térmico

aplicado para su obtención.

Los valores de la torta de moringa obtenida por prensa son menores que los obtenidos por expeller, pero ambas tortas presentan valores mayores a los reportados por Sharaf *et al.* (2009); 3,06 y 1,24 por ciento en fitatos y saponinas, respectivamente. Estas diferencias se deben a que este autor reporta sus resultados en semillas crudas y en esta investigación en tortas de semilla, de ahí el aumento en la concentración de antinutrientes después de la extracción de aceite. Es la misma relación que se obtiene en semillas y tortas de sachá inchi, la torta de semillas presentó un aumento significativo a comparación de las semillas en el contenido de saponinas y taninos según la investigación de Ruiz *et al.* (2013).

4.2. CARACTERIZACIÓN DE LAS HARINAS DE TORTAS DE SEMILLA DE MORINGA OBTENIDAS POR PRENSA Y POR EXPELLER

4.2.1. COMPOSICIÓN PROXIMAL

En la Tabla 19 se detallan los resultados del análisis proximal de las harinas de torta de semilla de moringa obtenida por prensa y por expeller.

Tabla 19: Composición proximal de las harinas de las tortas de semilla de moringa obtenidas por prensa y por expeller

Componente (g/100 g muestra)	Prensa		Expeller	
	Base húmeda	Base seca	Base húmeda	Base seca
Humedad	11,08 ± 0,06	---	9,15 ± 0,08	---
Proteína	71,20 ± 0,04	80,07 ± 0,05	56,43 ± 0,38	62,11 ± 0,42
Grasa	0,06 ± 0,01	0,07 ± 0,01	0,03 ± 0,002	0,03 ± 0,002
Fibra	5,35 ± 0,06	6,01 ± 0,06	12,09 ± 0,16	13,31 ± 0,18
Cenizas	5,06 ± 0,04	5,69 ± 0,04	6,81 ± 0,02	7,49 ± 0,02
Carbohidratos	7,25	8,16	15,49	17,06

La humedad en ambas harinas aumentó a comparación de la humedad inicial en las tortas reportadas en la Tabla 17, manteniéndose la tendencia de que la humedad en la harina de

torta obtenida por prensa es mayor que la obtenida por expeller.

Se observa un notable aumento de concentración de proteínas para ambas harinas a comparación de las tortas de semilla, al igual que en fibra y cenizas ya que el contenido de grasa disminuyó después de realizar el proceso completo de desengrasado y desamargado. Esta misma tendencia se observa en los datos reportados por Sharaf *et al.* (2009), entre las semillas y harina tratada (desengrasada y desamargada) según se muestra en la Tabla 7. El contenido de proteínas en la harina tratada según este autor es 56,53 por ciento, menor a la obtenida en esta investigación, debido a la variación en el proceso de desamargado, ya que Sharaf *et al.* (2009) aplicaron solución salina, método con el cual se pierde proteínas, verificado también por Silva *et al.* (2018).

La torta de semilla de moringa obtenida por prensa y la harina correspondiente (obtenida de prensado más éter de petróleo como solvente) presentaron: 9,33 y 11,08 por ciento de humedad; 51,88 y 71,20 por ciento de proteína; 19,28 y 0,06 por ciento de grasa; 2,46 y 5,35 por ciento de fibra; 4,76 y 5,06 por ciento de cenizas, según las Tablas 17 y 19, respectivamente. El aumento de humedad, proteínas, fibra, cenizas, pero disminución de grasa en las harinas también se observa en la torta de sachá inchi extraída por prensa y prensa más éter de petróleo, siendo sus composiciones proximales: 0,88 y 9,42 por ciento de humedad; 53,73 y 60,90 por ciento de proteína; 20,49 y 0,40 por ciento de grasa; 3,12 y 4,31 por ciento de fibra; 6,07 y 6,15 por ciento de cenizas, respectivamente, según investigación de Sosa (2000) citado por Mercado (2012).

Similar es el caso de la torta de semilla de moringa obtenida por expeller y su harina correspondiente (obtenida de expeller más éter de petróleo) las cuales presentaron: 6,67 y 9,15 por ciento de humedad; 47,48 y 56,43 por ciento de proteína; 15,40 y 0,03 por ciento de grasa; 9,10 y 12,09 por ciento de fibra; 5,12 y 6,81 por ciento de cenizas, respectivamente.

La misma tendencia se tiene en otras tortas de oleaginosas, como la torta de girasol extraída por expeller (Niño de Guzmán, 1999) y expeller más éter de petróleo (NRC, 1994 citado por Niño de Guzmán, 1999) siendo sus composiciones proximales: 40,3 y 45,4 por ciento de proteína; 9,63 y 2,9 por ciento de grasa; 10,83 y 12,2 por ciento de fibra, respectivamente.

Asimismo, Gallardo (2008) reporta en la torta de soya extraída por expeller y expeller más éter de petróleo contienen: 8,0 y 9,5 por ciento de humedad; 36,0 y 48,9 por ciento de proteína; 17,9 y 1,5 por ciento de grasa; 5,6 y 8,0 por ciento de fibra; 5,5 y 6,8 por ciento de cenizas, respectivamente.

Respecto a la cantidad de carbohidratos (base seca) presente en la harina de moringa obtenida por prensa, a comparación de otras harinas de productos convencionales y no convencionales (47,1; 3,8; 63,5; 68,8; 69,4; 66,7; 89,6 y 82,7 por ciento para la harina de avellanas, pescado, arveja, poroto, garbanzo, lenteja, trigo y arroz, respectivamente), es bastante menor. Lo anterior puede ser considerado positivo desde el punto de vista de que al consumirse grandes cantidades de carbohidratos se está aumentando la cantidad de calorías y disminuyendo la cantidad de nutrientes en la dieta.

Según la NTP 205.040 (ITINTEC, 1981), la humedad de una harina sucedánea de harina de trigo debe ser menor a 16 por ciento y menor al 5 por ciento en el contenido de cenizas. Ambas harinas obtenidas cumplen con el porcentaje de humedad, pero sobrepasan ligeramente en el contenido de cenizas.

4.2.2. DETERMINACIÓN DE ANTINUTRIENTES

Los análisis de antinutrientes (fitatos y saponinas) que se realizaron a cada una de las harinas de torta de semilla de moringa obtenidas por prensa y por expeller se muestran en la Tabla 20.

Tabla 20: Análisis de antinutrientes de las harinas de torta de semilla de moringa obtenidas por prensa y por expeller

Componente (g/100 g muestra)	Prensa		Expeller	
	Base húmeda	Base seca	Base húmeda	Base seca
Fitatos	1,72 ± 0,10	1,93 ± 0,11	2,15 ± 0,15	2,37 ± 0,17
Saponinas	0,10 ± 0,02	0,15 ± 0,02	0,15 ± 0,03	0,17 ± 0,03

Los resultados obtenidos mantienen la tendencia de mayor contenido de antinutrientes en la harina de moringa obtenida por expeller, así como en las tortas. En ambas harinas, el contenido de antinutrientes son mayores a lo reportado por Sharaf *et al.* (2009); 0,301 por ciento y “N.D.” en fitatos y saponinas, respectivamente, posiblemente se deba a la variedad y al proceso de desamargado realizado.

Nieto & Soria (1991) indican que los niveles de saponina aceptados para consumo humano son tolerados entre 0,06 y 0,12 por ciento; rango en el que se encuentra la harina de moringa obtenida por prensa (0,10 por ciento); sin embargo, la harina obtenida por expeller excede el límite superior indicado por estos autores.

4.2.3. PERFIL DE AMINOÁCIDOS

En la Tabla 21 se muestra el perfil de aminoácidos para las dos harinas de torta de semilla de moringa. Las harinas de moringa obtenidas por prensa y por expeller presentaron en común contenidos altos en ácido glutámico y arginina; y bajos en isoleucina, triptófano, lisina y alanina. Sin embargo, la harina obtenida por prensa fue superior a la de expeller en lisina y metionina.

Oliver *et al.* (2006) indica que un exceso de tratamiento de calor puede resultar en la destrucción de los aminoácidos y la formación de los productos de la reacción de Maillard que son biológicamente no utilizables, de todos los aminoácidos la lisina es la más susceptible a la reacción de Maillard. Asimismo, Fernández (2014) menciona que los aminoácidos afectados son la lisina y, en menor grado, la arginina, la histidina y el triptófano. Esto se corrobora en la harina de moringa obtenida por expeller, la cual se vio afectada seriamente en el contenido de lisina.

Los aminoácidos esenciales mostrados en la Tabla 22 fueron convertidos a g/100 g proteína o g/16 gN, para poder ser comparados con los datos indicados por Sharaf *et al.* (2009) (Tabla 9) y con el patrón de la FAO/OMS para adultos (Organización Mundial de la Salud [OMS], 1985).

Tabla 21: Perfil de aminoácidos de las harinas de torta de semilla de moringa obtenidas por prensa y por expeller

Aminoácidos (g de aa/100 g muestra)	Prensa		Expeller	
	Base húmeda	Base seca	Base húmeda	Base seca
Ácido aspártico	1,72 ± 0,02	1,93 ± 0,02	2,13 ± 0,01	2,34 ± 0,01
Ácido glutámico	16,71 ± 0,05	18,79 ± 0,06	10,63 ± 0,02	11,70 ± 0,02
Serina	2,19 ± 0,03	2,46 ± 0,03	1,58 ± 0,04	1,74 ± 0,04
Glicina	3,19 ± 0,05	3,59 ± 0,06	2,53 ± 0,06	2,78 ± 0,07
Histidina	3,19 ± 0,05	3,59 ± 0,06	2,16 ± 0,01	2,38 ± 0,01
Treonina	5,19 ± 0,02	5,84 ± 0,02	3,64 ± 0,01	4,00 ± 0,01
Alanina	1,01 ± 0,03	1,14 ± 0,03	0,52 ± 0,03	0,57 ± 0,03
Arginina	5,48 ± 0,03	6,16 ± 0,03	4,53 ± 0,04	4,98 ± 0,04
Prolina	3,75 ± 0,02	4,22 ± 0,02	2,89 ± 0,01	3,18 ± 0,01
Tirosina	1,25 ± 0,01	1,41 ± 0,01	0,94 ± 0,04	1,03 ± 0,04
Valina	2,22 ± 0,03	2,49 ± 0,03	1,90 ± 0,02	2,09 ± 0,02
Metionina	1,26 ± 0,05	1,42 ± 0,06	0,79 ± 0,06	0,87 ± 0,07
Isoleucina	0,22 ± 0,01	0,25 ± 0,01	0,17 ± 0,02	0,19 ± 0,02
Leucina	2,76 ± 0,02	3,10 ± 0,02	4,79 ± 0,06	5,27 ± 0,07
Fenilalanina	2,22 ± 0,01	2,49 ± 0,01	2,34 ± 0,04	2,58 ± 0,04
Lisina	1,00 ± 0,01	1,12 ± 0,01	0,41 ± 0,02	0,45 ± 0,02
Triptófano	0,73 ± 0,02	0,82 ± 0,02	0,53 ± 0,01	0,58 ± 0,01

Sarria (s.a.) menciona que para facilitar las comparaciones, los perfiles de aminoácidos (aminogramas) se comparan con el perfil patrón de FAO/OMS. Se obtiene de esta manera un valor en porcentaje, de uso fácil, llamado “índice o score químico” que indica los aminoácidos esenciales limitantes para cada proteína.

$$\text{Índice químico} = \frac{\text{mg de aminoácido por 1g de proteína en estudio}}{\text{mg de aminoácido por 1g de proteína de referencia}} \times 100$$

Así, al estudiar un número elevado de proteínas, se ha podido constatar que las proteínas vegetales presentan deficiencias pronunciadas en lisina y treonina (cereales), en triptófano

(maíz) o en aminoácidos sulfurados (soja). Los aminoácidos cuyo índice químico es inferior a 100 se denominan “limitantes” (Sarria, s.a.).

Tabla 22: Aminoácidos esenciales de las harinas de torta de semilla de moringa obtenida por prensa (HP) y por expeller (HE) y proteína patrón de FAO/OMS

Aminoácidos Esenciales	Prensa		Expeller		FAO/OMS ^(a) (g de aa/ 16 gN)
	g de aa/ 16 gN	Índice Químico	g de aa/ 16 gN	Índice químico	
Histidina	4,48	280,00	3,83	239,38	1,60
Lisina	1,40	87,50	0,73	45,63	1,60
Leucina	3,88	204,21	8,49	446,84	1,90
Isoleucina	0,31	23,85	0,30	23,08	1,30
Valina	3,12	240,00	3,37	259,23	1,30
Treonina	7,29	810,00	6,45	716,67	0,90
Met + Cist	1,77	104,12	1,40	82,35	1,70
Fen + Tir	4,87	256,32	5,81	305,79	1,90
Triptófano	1,03	206,00	0,94	188,00	0,50

^(a)OMS (1985)

Según los resultados obtenidos en la Tabla 22, los aminoácidos limitantes en la harina de moringa obtenida por prensa (HP) son: lisina e isoleucina; mientras que la harina de moringa obtenida por expeller (HE) es limitante en lisina, isoleucina y metionina. Kumar *et al.* (2009) menciona que la disponibilidad de lisina disminuye 50 por ciento con respecto a la temperatura de tostado, esto se corrobora en el contenido de lisina en la harina de moringa obtenida por expeller (0,73 g de aa/ 16 gN) aproximadamente la mitad a comparación de la harina de moringa obtenida por prensa (1,40 g de aa/ 16 gN).

Según lo reportado por Sharaf *et al.* (2009) en la Tabla 9 y los datos obtenidos en esta investigación, coinciden en la lisina como aminoácido limitante; sin embargo, este autor presenta otros aminoácidos limitantes como la valina y treonina; esta diferencia es atribuida al patrón de referencia utilizado. D'Melo (2000) indica que la calidad de las pastas o tortas de oleaginosas como fuentes de proteínas depende de diversos factores, dentro de los que se

encuentran la variedad del cultivo y el método utilizado en su procesamiento, los cuales generalmente emplean calor. El sobrecalentamiento de la pasta genera un efecto negativo sobre la digestibilidad de los aminoácidos; por otro lado, un producto subcalentado también puede producir un efecto negativo de aquellas fuentes que contienen factores antinutricionales.

4.2.4. ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

En la Tabla 23, 24 y 25 se muestran los resultados del Análisis Granulométrico, Módulo de Finura y Tamaño Promedio de Partícula, e Índice de Uniformidad, respectivamente, de la harina de trigo y harinas de tortas de semilla de moringa obtenidas por prensa y por expeller.

El Módulo de Finura y el Índice de Uniformidad de una harina indican la uniformidad de la molienda y la distribución de partículas finas y gruesas en el producto resultante, además el Módulo de Finura permite encontrar el tamaño promedio de partículas (Perry y Henderson, 1966 citados por Márquez & Ciro, 2002). Smith (1972) citado por Rojas (2001), menciona que las harinas comerciales destinadas a pastelería y galletería deben ser más finas que aquellas destinadas a panificación. La clasificación de las partículas de harinas según el Módulo de Finura es: 0 - 2 para finas, 2 - 4 para medianas y 4 a más para gruesas. Las harinas de trigo y de las tortas de semilla de moringa obtenidas por prensa y por expeller presentaron un Módulo de Finura de 0,358; 0,389 y 0,367, respectivamente, que las califica como finas, aptas para galletería.

Pylar (1988) citado por Rojas (2001), recomienda un tamaño de partícula entre 120 - 180 micras adecuado para galletería, encontrándose la harina de trigo, la harina de torta de semilla de moringa obtenida por prensa y la obtenida por expeller dentro del rango estipulado, con 133,5; 136,4 y 134,3 micras, respectivamente, considerándose las tres harinas en esta investigación adecuadas para galletería.

Tabla 23: Análisis Granulométrico de la harina de trigo (HT), harina de torta de semilla de moringa obtenida por prensa (HP) y obtenida por expeller (HE)

Tyler Mesh	Abertura de malla (mm)	% Material retenido (HT)	% Material retenido (HP)	% Material retenido (HE)	Factor de retardo (F)	Total (HT) x (F)	Total (HP) x (F)	Total (HE) x (F)
16	1,000	0,00	0,00	0,00	6,00	0,00	0,00	0,00
32	0,500	0,00	0,00	0,00	5,00	0,00	0,00	0,00
35	0,425	0,00	0,33	0,00	4,00	0,00	1,33	0,00
48	0,300	0,00	0,67	0,33	3,00	0,00	2,00	1,00
60	0,250	0,00	1,33	1,67	2,00	0,00	2,67	3,33
100	0,150	35,50	32,67	32,00	1,00	35,50	32,67	32,00
170	0,090	62,55	54,33	58,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Plato		1,15	10,00	7,00				
Total		99,20	99,33	99,00		35,50	38,67	36,33

Tabla 24: Módulo de Finura y Tamaño Promedio de Partícula de la harina de trigo (HT), harina de torta de semilla de moringa obtenida por prensa (HP) y obtenida por expeller (HE)

Muestra	Módulo de Finura (MF) $\Sigma (M \times F) / \Sigma \%M$	Tamaño Promedio de Partícula $0.0041 \times (2)^{MF} \times 25,4 \times 1000 \mu m$
HT	0,358	133,5
HP	0,389	136,4
HE	0,367	134,3

Tabla 25: Índice de uniformidad de la harina de trigo (HT), harina de torta de semilla de moringa obtenida por prensa (HP) y obtenida por expeller (HE)

Tyler mesh	HT			HP			HE		
	% Material retenido	Sub totales/10	Aproximación	% Material retenido	Sub totales/10	Aproximación	% Material retenido	Sub totales/10	Aproximación
32	0,00			0,00			0,00		
35	0,00		Grueso	0,33		Grueso	0,00		Grueso
48	0,00			0,67			0,33		
Sub total	0,00	0,00	0,00	1,00	0,10	0,10	0,33	0,03	0,00
60	0,00			1,33			1,67		
100	35,50		Mediano	32,67		Mediano	32,00		Mediano
Sub total	35,50	3,55	4,00	34,00	3,40	3,00	33,67	3,37	3,00
170	62,55			54,33			58,00		
plato	1,15		Fino	10,00		Fino	7,00		Fino
Sub total	63,70	6,37	6,00	64,33	6,43	6,00	65,00	6,50	7,00

Índice de Uniformidad (grueso: mediano: fino)

HT: (0 : 4 : 6)

HP: (0,1 : 3 : 6)

HE: (0 : 3 : 7)

4.2.5. POTENCIAL DE HIDRÓGENO, ACIDEZ Y DETERMINACIÓN DE GLUTEN

En la Tabla 26 se muestran los resultados de análisis químicos adicionales (pH, acidez y determinación de gluten) realizados a la harina de trigo, harina de torta de semilla de moringa obtenida por prensa y por expeller.

Tabla 26: Potencial de hidrógeno (pH), acidez y determinación de gluten en las harinas de trigo (HT), harina de torta de semilla de moringa obtenida por prensa (HP) y por expeller (HE)

Harinas	pH	Acidez ^(a) (%)	Gluten húmedo (%)	Gluten seco (%)
HT	6,59 ± 0,03	0,037 ± 0,002	23,5 ± 0,1	8,0 ± 0,1
HP	6,44 ± 0,02	0,061 ± 0,001	---	---
HE	6,35 ± 0,02	0,074 ± 0,001	---	---

^(a)Acidez expresada en ácido sulfúrico

La Academia del Área de Planta Piloto de Alimentos [AAPPA] (2004) indica la clasificación de alimentos de acuerdo a su pH, siendo los alimentos de baja acidez aquellos con pH > 4,5; alimentos ácidos con pH de 4,0 a 4,5 y alimentos de alta acidez con pH < 4,0. Bajo esta clasificación, la harina de trigo, la harina de torta de semilla de moringa obtenida por prensa y por expeller son considerados alimentos de baja acidez.

La harina de trigo galletera empleada en la investigación presentó un pH de 6,59, valor que se encuentra dentro del rango propuesto por Bennion (1970), quien indica que el pH de la harina de trigo usualmente está entre 6,0 y 6,8. Aunque la mayor parte de harina proviene de granos de trigo molido, también se refiere a la molienda de centeno, cebada, arroz, frutos secos, legumbres o incluso vegetales. Por esa razón, y debido a los diferentes aditivos, los niveles de pH de la harina varían, dando lugar también a diferentes gustos.

Las harinas de torta de semilla de moringa obtenidas por prensa y por expeller presentaron un pH de 6,44 y 6,35, respectivamente. Al respecto, Kent (1971) menciona que el pH para

harinas sucedáneas de harina de trigo es de 5,5 a 6,5; las harinas de moringa en investigación se encuentran dentro de este rango.

En cuanto a la acidez, la harina de moringa obtenida por prensa y por expeller son mayores que la harina de trigo, pero están dentro del rango estipulado por la NTP 205.027 (ITINTEC, 1986) que indica que máximo la acidez de la harina debe ser 0,15 por ciento.

Según el International Association for Cereal Science and Technology [ICC] (2001) la harina galletera debe contener máximo un gluten seco de 8,5 por ciento; la harina de trigo usada en esta investigación cumple con el requisito. Las harinas de moringa obtenidas por prensa y por expeller no presentaron gluten, coincidiendo con lo indicado por Calderón (2012), quien enumera a los alimentos usados para una dieta libre de gluten como: soya, arroz, camote, zanahoria, frutos secos, sorgo, maíz, moringa, malanga, yuca, entre otros.

4.3. FORMULACIÓN DE GALLETAS DULCES

4.3.1. GALLETAS CON SUSTITUCIÓN DE HARINA DE TORTA DE SEMILLA DE MORINGA OBTENIDA POR PRENSA

En la Tabla 27 se presentan los resultados de las variables respuesta (dureza, factor de expansión y contenido proteico) correspondientes a cada una de las formulaciones de galletas elaboradas con harina de moringa obtenida por prensa.

La **variable respuesta dureza** (textura instrumental) de todas las galletas fue expresada en gf. La textura fue medida dentro de las 24 a 48 horas después de elaboradas, tal como sugiere Gaines *et al.* (1992), ya que luego de ese tiempo la dureza empieza a variar.

Según los valores obtenidos en esta investigación (formulaciones 4-3; 7-3; 6-5 y 10-9) se observa que a menor porcentaje de grasa, mayor dureza. Pareyt *et al.* (2009) mencionan que los cambios en los ingredientes de la formulación de galletas y en el proceso causan variaciones en la textura; también infieren que la sustitución de grasa tuvo mayor impacto en los atributos texturales de las galletas que la sustitución de azúcar o harina, lo que coincide

con Benavides (2012), quien indica que la grasa es uno de los principales ingredientes que afecta la textura de la galleta.

Tabla 27: Resultados obtenidos de dureza, factor de expansión y contenido proteico en las galletas con harina de torta de semilla de moringa obtenida por prensa

Formulación	HT (%)	HM (%)	G (%)	Dureza (gf)	Factor de expansión (%)	Contenido proteico (%)
F1	45	5	13	1947,8	97,28	12,51
F2	55	0	8	2633,85	81,78	9,63
F3	40	15	8	3655,1	69,34	20,3
F4	40	0	23	837,9	116,35	8,31
F5	47,5	7,5	8	2829,35	78,07	14,94
F6	47,5	0	15,5	1411,55	100,0	8,44
F7	40	7,5	15,5	1469,15	99,09	13,73
F8	50	2,5	10,5	2084,5	94,51	11,11
F9	42,5	10	10,5	2378,7	92,22	16,52
F10	42,5	2,5	18	926,35	114,14	9,99

Donde:

HT: harina de trigo

HM: harina de torta de semilla de moringa obtenida por prensa

G: grasa

Se determinó que a medida que se incrementa el porcentaje de harina de moringa, aumenta la dureza en las galletas dulces (formulaciones 2-3; 2-5; 3-5; 6-7 y 8-9). Similares resultados obtuvieron Herrera (2009), Dachana *et al.* (2010) y Contreras (2015), con sustitución de salvado de quinua, kañihua y kiwicha; hojas de moringa; y quinua, respectivamente, en galletas dulces.

Herrera (2009) menciona que la disminución del gluten conjuntamente con el impedimento

del acceso del agua hacia la harina de trigo que se está sustituyendo, produciría una baja en la fuerza del gluten, lo que se traduce en una disminución del desarrollo, ya que el gas producido por los agentes leudantes al encontrar menor resistencia no incrementa el volumen de la galleta en el horno. Esto formaría un mayor grosor de la corteza de la galleta después del horneado, aumentando su dureza debido a la sustitución de harina de trigo por otro tipo de harina.

El análisis de regresión múltiple correspondiente a la dureza, arrojó la ecuación polinomial de segundo grado (Ecuación 6) que relaciona la dependencia de la dureza en función de la harina de trigo, harina de moringa y grasa.

$$\hat{y} = 73,5753 x_1 + 423,0874 x_2 + 133,4690 x_3 - 5,3907 x_1x_2 - 5,6452 x_1x_3 - 13,9482 x_2x_3 \quad (6)$$

Donde \hat{y} representa la dureza estimada o predicha (%); mientras que x_1 , x_2 y x_3 corresponden a los porcentajes de harina de trigo, harina de torta de semilla de moringa y grasa, respectivamente. La representación gráfica de esta tendencia se observa en las Figuras 10 y 11, correspondiente a la superficie de respuesta y gráfico de contornos, respectivamente.

La altura de la superficie representada en la Figura 10 representa el valor predicho o estimado \hat{y} , el cual es graficado para todas las formulaciones cuyas coordenadas están localizadas dentro del triángulo, dando como resultado una superficie encima de dicha región, y se asume como continua para todas las posibles formulaciones o mezclas (Cornell, 2002).

Los colores van desde el azul (para los valores de dureza más bajos), pasando por el celeste, verde y amarillo hasta llegar al rojo que representa los valores más altos de dureza. Los puntos rojos representan los valores reales de la respuesta.

Geométricamente cada curva de contorno en la Figura 11, es una proyección de una sección transversal de la superficie de dureza, hecha por un plano paralelo al triángulo que corta a través de la superficie a una altura determinada.

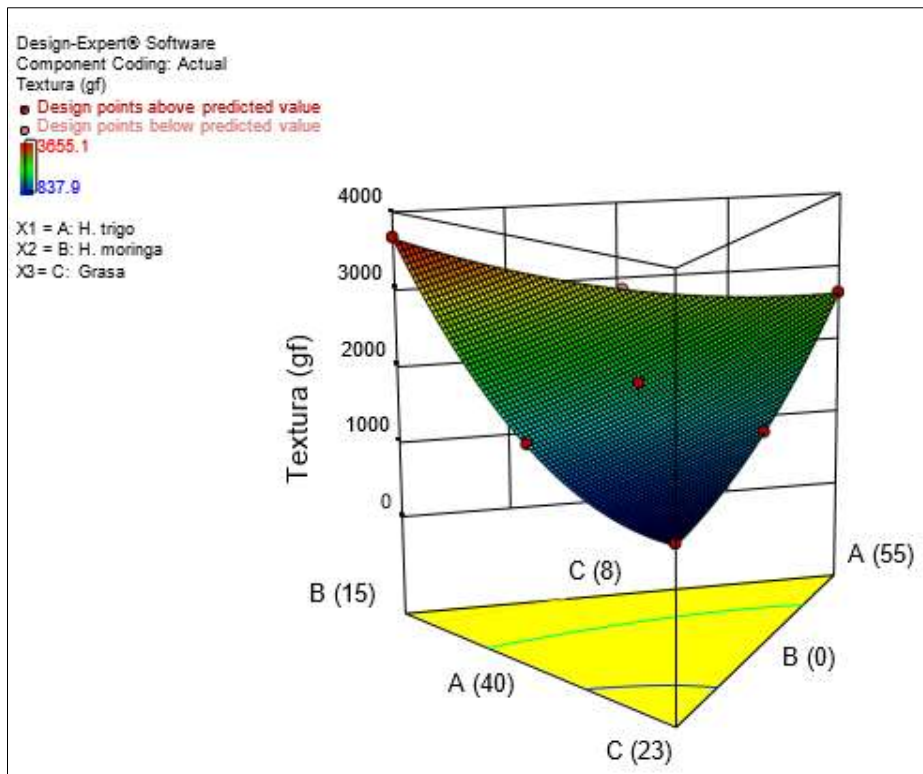


Figura 10: Superficie de respuesta para la dureza de las galletas en función del porcentaje de harina de trigo (x1), harina de torta de semilla de moringa (x2) y grasa (x3)

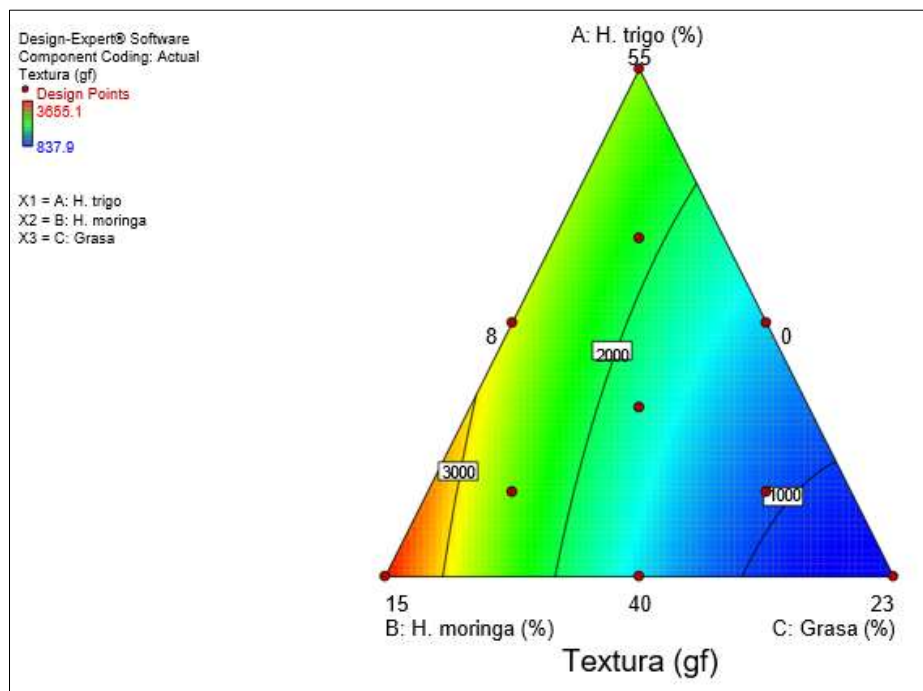


Figura 11: Contornos de la superficie de respuesta para la dureza de las galletas

Para la segunda **variable respuesta, factor de expansión** de las galletas, de acuerdo a los resultados obtenidos (formulaciones 2-3, 2-5, 5-3, 6-7 y 8-9), se determinó que a mayor porcentaje de harina de moringa, menor factor de expansión de la galleta. Contreras (2015) reportó a mayores concentraciones de harina de sustitución (quinua), los diámetros de las galletas más bajos de todas sus formulaciones. Este decremento obedece a una disminución gradual del gluten debido a la inclusión de harina sin gluten, influyendo en el desarrollo de la galleta (disminución de diámetro y aumento de espesor) tal como lo menciona Herrera (2009).

Dachana *et al.* (2010) reportó esta misma tendencia, a mayor nivel de sustitución con harina de hojas de moringa, el diámetro en las galletas disminuyó y el espesor aumentó, disminuyendo también el factor de expansión. Fuhr (1962); citado por estos autores, informó que la harina o cualquier otro ingrediente, que absorbe agua durante la mezcla de la masa, disminuye el factor de expansión.

También se observó que a mayor contenido de grasa, mayor factor de expansión (formulaciones 2-4, 5-4, 8-6, 9-10). Al respecto, Pareyt *et al.* (2009) indican que un incremento de grasa o azúcar influyen en el diámetro y espesor de las galletas, aumentando y disminuyendo, respectivamente, lo que resulta en un aumento del factor de expansión.

El análisis de regresión múltiple correspondiente al factor de expansión, arrojó la ecuación polinomial de segundo grado (Ecuación 7) que relaciona la dependencia del factor de expansión en función de la harina de trigo, harina de moringa y grasa.

$$\hat{y} = 0,7568 x_1 - 4,1249 x_2 + 0,3598 x_3 + 0,0813 x_1x_2 + 0,0845 x_1x_3 + 0,1872 x_2x_3 \quad (7)$$

Donde \hat{y} representa el factor de expansión estimado o predicho (%); mientras que x_1 , x_2 y x_3 corresponden a los porcentajes de harina de trigo, harina de torta de semilla de moringa y grasa, respectivamente. La representación gráfica de esta tendencia se observa en las Figuras 12 y 13, correspondiente a la superficie de respuesta y gráfico de contornos, respectivamente.

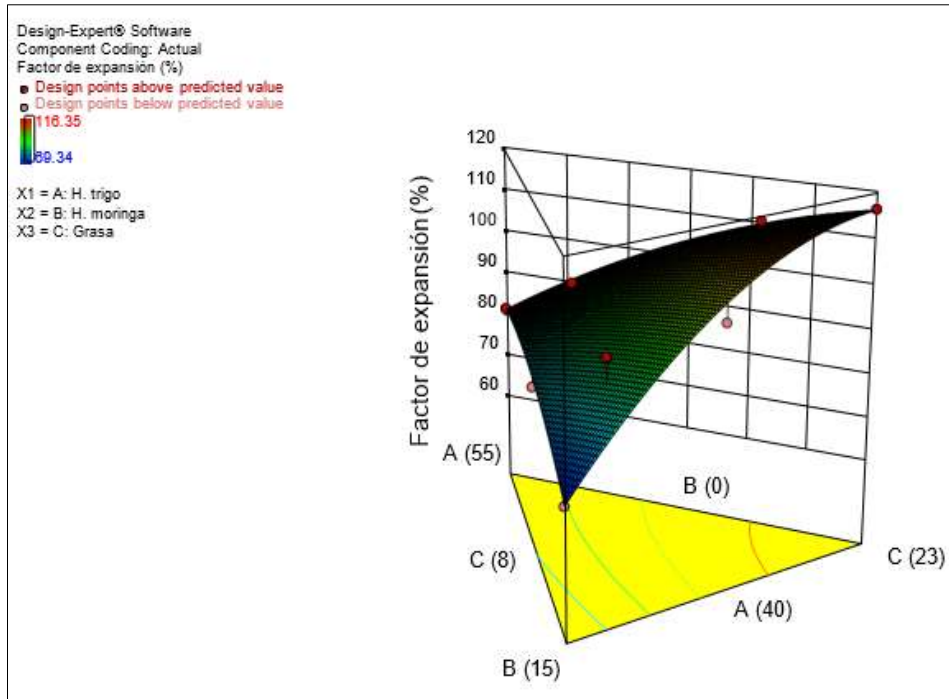


Figura 12: Superficie de respuesta para el factor de expansión de las galletas en función del porcentaje de harina de trigo (x1), harina de torta de semilla de moringa (x2) y grasa (x3)

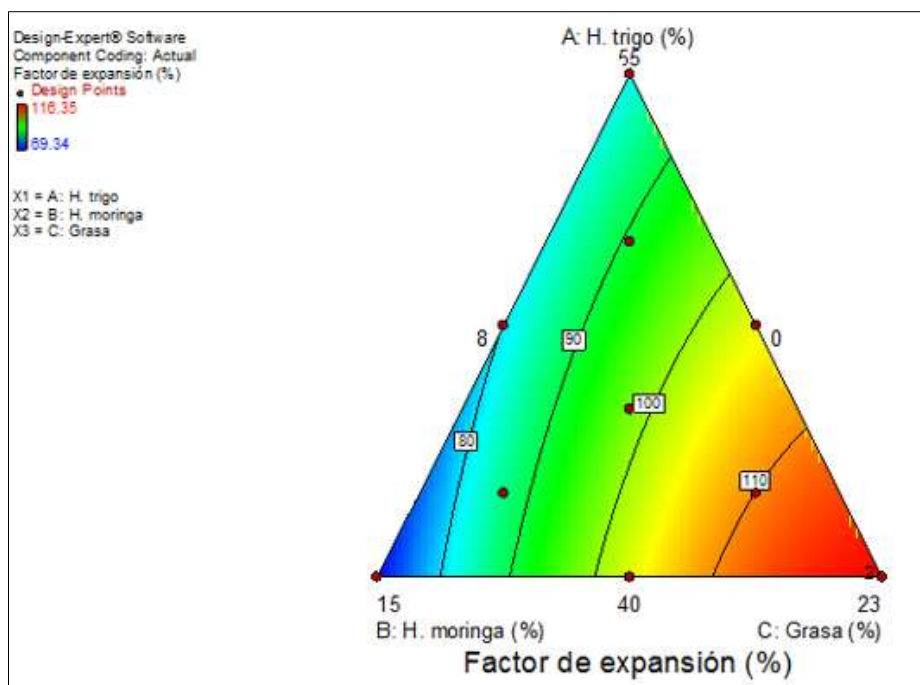


Figura 13: Contornos de la superficie de respuesta para el factor de expansión de las galletas

Para la tercera **variable respuesta, contenido proteico** de las galletas, se observó que a mayor porcentaje de harina de moringa mayor contenido de proteínas (formulaciones 2-3, 4-5, 6-7, 8-9). El análisis de regresión múltiple correspondiente, arrojó la ecuación polinomial especial cuártica (Ecuación 8) que relaciona la dependencia del contenido proteico en función de la harina de trigo, harina de moringa y grasa.

$$\hat{y} = 9,6317 x_1 + 20,3017 x_2 + 8,3117 x_3 - 0,0933 x_1x_2 - 2,0999 x_1x_3 - 2,2799 x_2x_3 + 14,5567 x_1^2x_2x_3 + 24,2767 x_1x_2^2x_3 - 15,4436 x_1x_2x_3^2 \quad (8)$$

Donde \hat{y} representa el contenido proteico estimado o predicho (%); mientras que x_1 , x_2 y x_3 corresponden a los porcentajes de harina de trigo, harina de torta de semilla de moringa y grasa, respectivamente. La representación gráfica de esta tendencia se observa en las Figuras 14 y 15, correspondiente a la superficie de respuesta y gráfico de contornos, respectivamente.

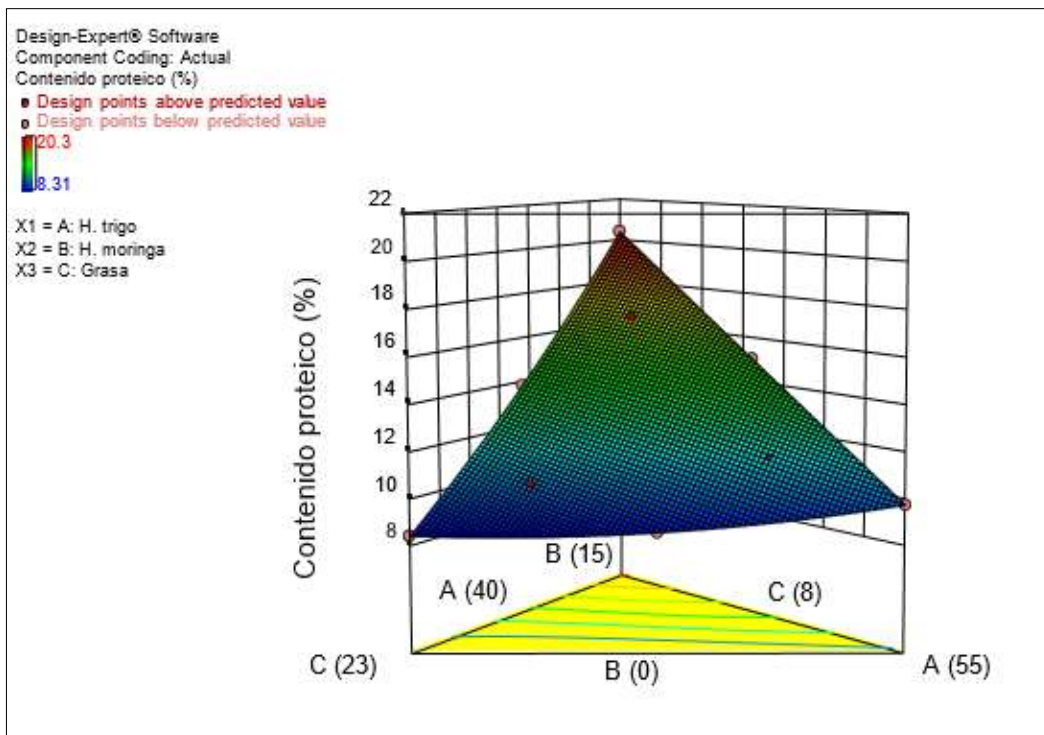


Figura 14: Superficie de respuesta para el contenido proteico de las galletas en función del porcentaje de harina de trigo (x_1), harina de torta de semilla de moringa (x_2) y grasa (x_3)

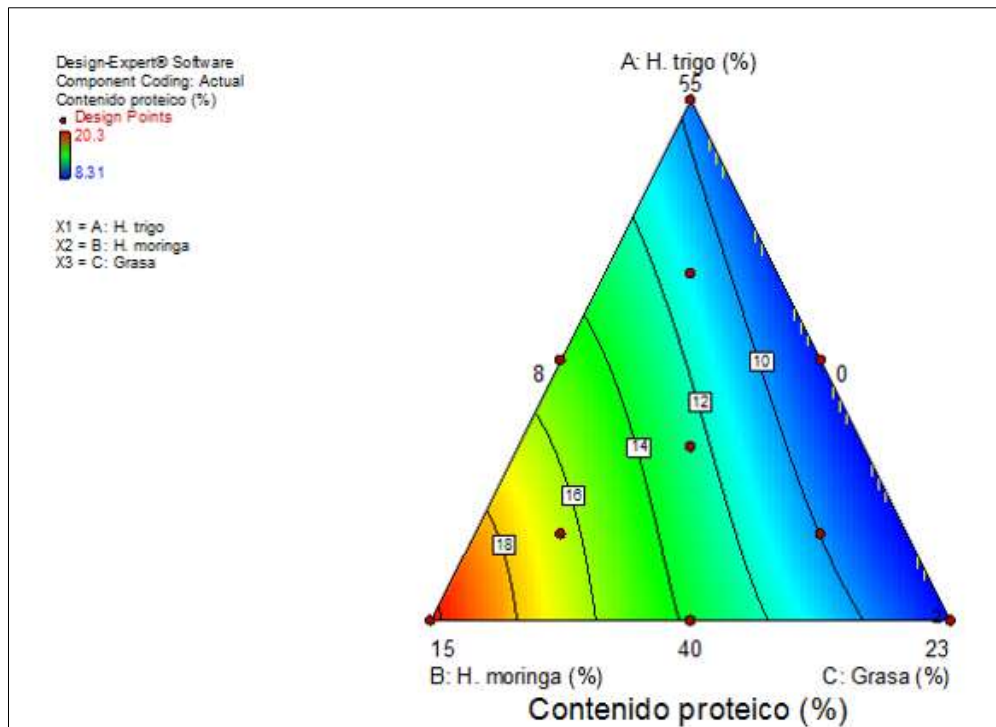


Figura 15: Contornos de la superficie de respuesta para el contenido proteico de las galletas

En la Tabla 28 se muestra el resumen de los resultados del análisis de varianza ANVA de los modelos para las tres variables respuestas analizadas anteriormente: dureza, factor de expansión y contenido proteico.

Tabla 28: Resultados del ANVA para el modelo de regresión de las tres variables respuestas en las galletas con harina de torta de semilla de moringa obtenida por prensa

Variable Respuesta	Término del modelo	R ²	R ² ajustado	R ² predicho	Valor F calculado	Valor F tabular	p value Prob > F
Dureza	Cuadrática	0,9934	0,9893	0,9886	241,48	F(5,8,α=0,05) = 3,69	<0,0001
Factor de expansión	Cuadrática	0,9695	0,9504	0,8439	50,84	F(5,8,α=0,05) = 3,69	<0,0001
Contenido proteico	Especial cuartica	1,0000	1,0000	0,9988	63257,36	F(8,5,α=0,05) = 4,82	<0,0001

Como se puede apreciar, el valor F calculado es mayor en todos los casos, en comparación con el valor tabular F, lo cual implica que los modelos son significativos al 95% de confianza, por tanto la relación entre las variables respuesta y los componentes estudiados (harina de trigo, harina de torta de semilla de moringa y grasa) se describe adecuadamente por las ecuaciones indicadas en la Tabla 28. Asimismo un p-value ($< 0,0001$) menor al nivel de significancia (0,05) indica que el modelo es estadísticamente significativo, lo que se observa en las variables respuesta analizadas.

4.3.2. GALLETAS CON SUSTITUCIÓN DE HARINA DE TORTA DE SEMILLA DE MORINGA OBTENIDA POR EXPELLER

En la Tabla 29 se presentan los resultados de las variables respuesta (dureza, factor de expansión y contenido proteico) correspondientes a cada una de las formulaciones de galletas elaboradas con harina de moringa obtenida por expeller.

Tabla 29: Resultados obtenidos de dureza, factor de expansión y contenido proteico en las galletas con harina de torta de semilla de moringa obtenida por expeller

Formulación	HT (%)	HM (%)	G (%)	Dureza (gf)	Factor de expansión (%)	Contenido proteico (%)
F1	45	5	13	2016,3	95,67	10,55
F2	55	0	8	2633,85	81,78	9,63
F3	40	15	8	4492,8	62,87	17,43
F4	40	0	23	837,9	116,35	8,31
F5	47,5	7,5	8	3240,4	74,68	13,24
F6	47,5	0	15,5	1411,55	100,0	8,44
F7	40	7,5	15,5	1575,35	98,16	12,08
F8	50	2,5	10,5	2159,75	91,27	10,31
F9	42,5	10	10,5	2494,55	90,1	13,14
F10	42,5	2,5	18	1039,8	111,29	9,32

Donde:

HT: harina de trigo

HM: harina de torta de semilla de moringa obtenida por prensa

G: grasa

Se observó que la tendencia del aumento de la **dureza** es igual que con harina de moringa obtenida por prensa; sin embargo, los valores mostrados en la Tabla 29 son mayores. Carson & Sun (2001) afirman que la dureza varía de acuerdo al tipo de suplemento usado en la harina de trigo, además que la adición de fibra puede alterar la textura de las galletas, esto se podría confirmar en esta investigación ya que la harina de moringa obtenida por expeller tiene más fibra que la obtenida por prensa.

El análisis de regresión múltiple correspondiente, arrojó la ecuación polinomial de segundo grado (Ecuación 9) que relaciona la dependencia de la dureza en función de la harina de trigo, harina de moringa y grasa.

$$\hat{y} = 73,5372 x_1 + 563,3225 x_2 + 135,3932 x_3 - 6,2462 x_1x_2 - 5,6597 x_1x_3 - 20,5648 x_2x_3 \quad (9)$$

Donde \hat{y} representa la dureza estimada o predicha (%); mientras que x_1 , x_2 y x_3 corresponden a los porcentajes de harina de trigo, harina de torta de semilla de moringa y grasa, respectivamente. La representación gráfica de esta tendencia se observa en las Figuras 16 y 17, correspondiente a la superficie de respuesta y gráfico de contornos, respectivamente.

Para la segunda variable respuesta, la tendencia en la disminución del **factor de expansión** (FE) a medida que aumenta el porcentaje de harina de moringa obtenida por expeller (HE) es similar a la sustitución de harina de moringa obtenida por prensa (HP), sin embargo los valores de FE con HE son menores que con HP.

El análisis de regresión múltiple correspondiente, arrojó la ecuación polinomial de segundo grado (Ecuación 10) que relaciona la dependencia del factor de expansión en función de la harina de trigo, harina de moringa y grasa.

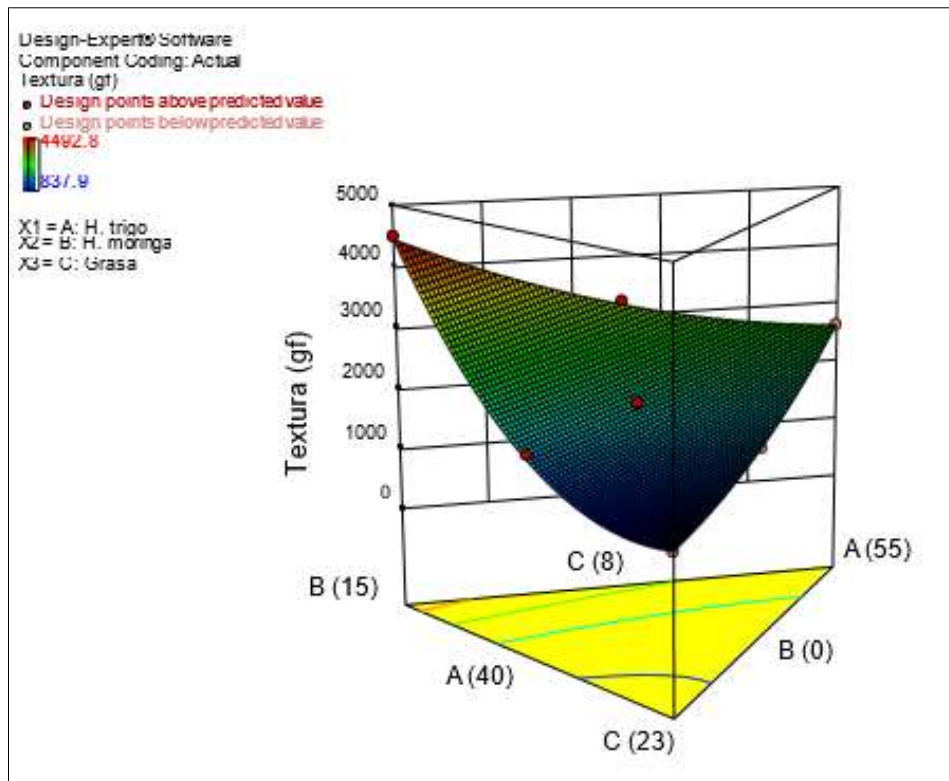


Figura 16: Superficie de respuesta para la dureza de las galletas en función del porcentaje de harina de trigo (x1), harina de torta de semilla de moringa (x2) y grasa (x3)

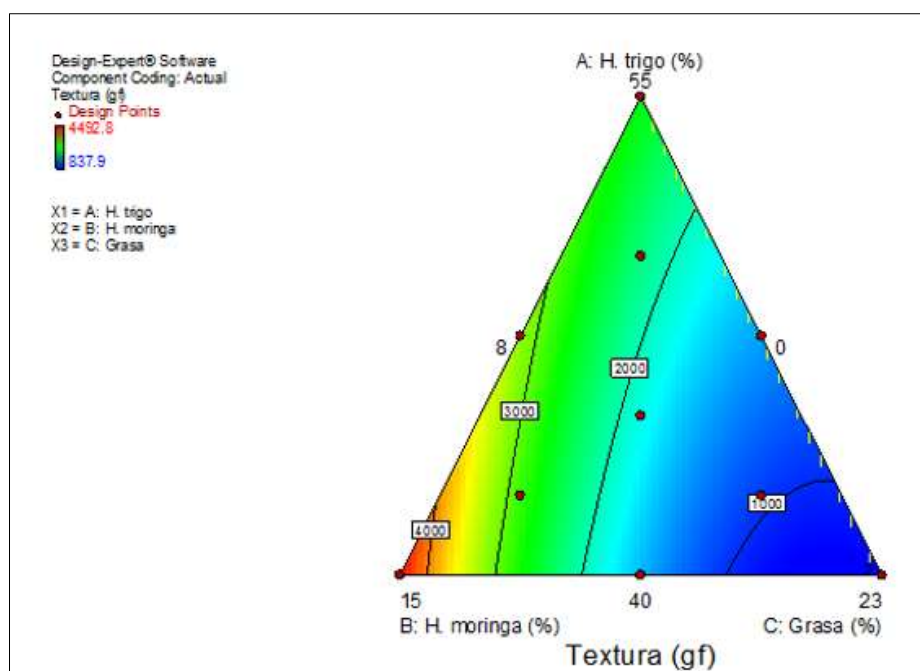


Figura 17: Contornos de la superficie de respuesta para la dureza de las galletas

$$\hat{y} = 0,8123 x_1 - 4,6716 x_2 + 1,0437 x_3 + 0,0755 x_1x_2 + 0,0648 x_1x_3 + 0,2221 x_2x_3 \quad (10)$$

Donde \hat{y} representa el factor de expansión estimado o predicho (%); mientras que x_1 , x_2 y x_3 corresponden a los porcentajes de harina de trigo, harina de torta de semilla de moringa y grasa, respectivamente. La representación gráfica de esta tendencia se observa en las Figuras 18 y 19, correspondiente a la superficie de respuesta y gráfico de contornos, respectivamente.

En el caso de la variable respuesta, **contenido proteico**, los valores indicados en la Tabla 29 son menores que las galletas elaboradas con harina de moringa obtenida por prensa como se muestra en la Tabla 27, debido a que la harina de moringa obtenida por expeller tiene menos proteína.

El análisis de regresión múltiple correspondiente, arrojó la ecuación polinomial especial cuartica (Ecuación 11) que relaciona la dependencia del contenido proteico en función de la harina de trigo, harina de moringa y grasa.

$$\hat{y} = 9,6269 x_1 + 17,4269 x_2 + 8,3069 x_3 - 1,1722 x_1x_2 - 2,1565 x_1x_3 - 3,1965 x_2x_3 + 25,9061 x_1^2x_2x_3 - 80,2939 x_1x_2^2x_3 + 8,4851 x_1x_2x_3^2 \quad (11)$$

Donde \hat{y} representa el contenido proteico estimado o predicho (%); mientras que x_1 , x_2 y x_3 corresponden a los porcentajes de harina de trigo, harina de torta de semilla de moringa y grasa, respectivamente. La representación gráfica de esta tendencia se observa en las Figuras 20 y 21, correspondiente a la superficie de respuesta y gráfico de contornos, respectivamente.

En la Tabla 30 se muestra el resumen de los resultados del análisis de varianza ANVA de los modelos de regresión para cada variable respuesta analizada: dureza, factor de expansión y contenido proteico. Como se observa, el valor F calculado es mayor en todos los casos, en comparación con el valor tabular F, lo cual implica que el modelo es significativo al 95% de confianza. Asimismo un p-value ($< 0,0001$) menor al nivel de significancia (0,05) indica que el modelo es estadísticamente significativo, lo que se observa en las tres variables respuesta.

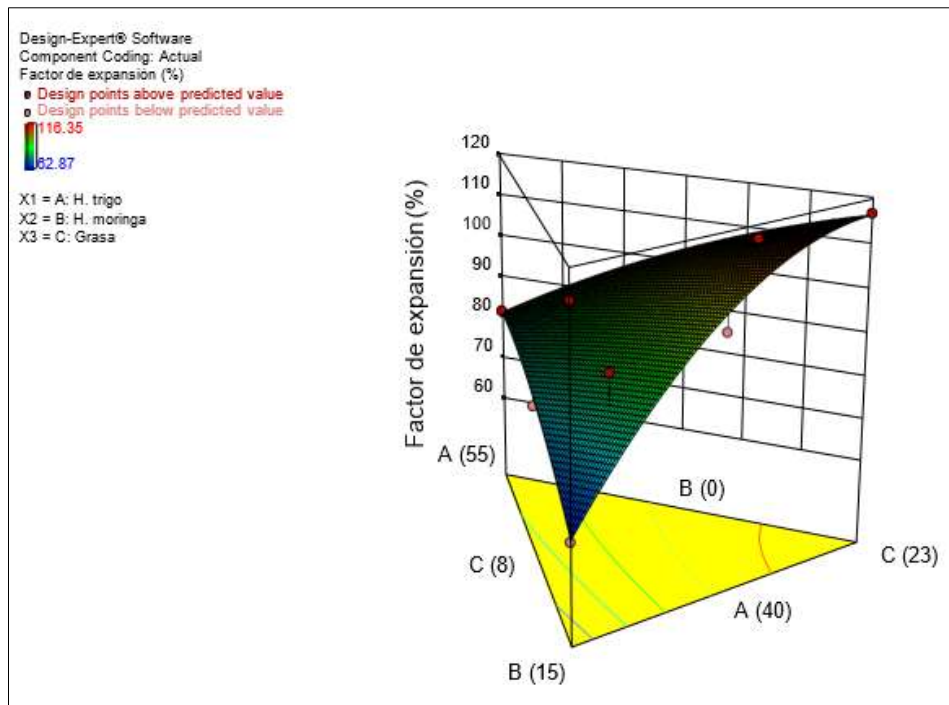


Figura 18: Superficie de respuesta para el factor de expansión de las galletas en función del porcentaje de harina de trigo (x1), harina de torta de semilla de moringa (x2) y grasa (x3)

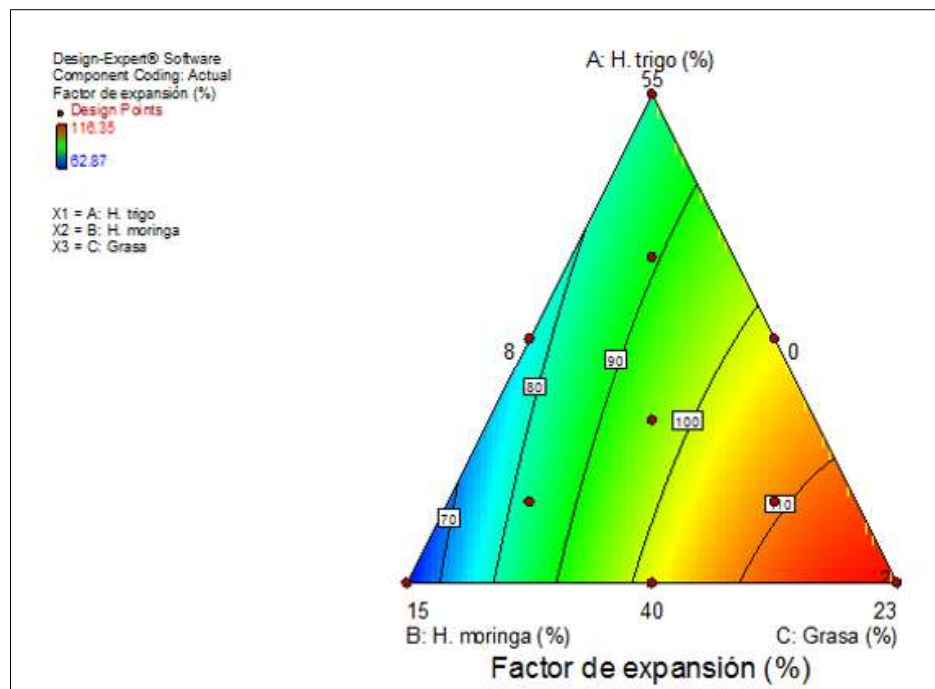


Figura 19: Contornos de la superficie de respuesta para el factor de expansión de las galletas

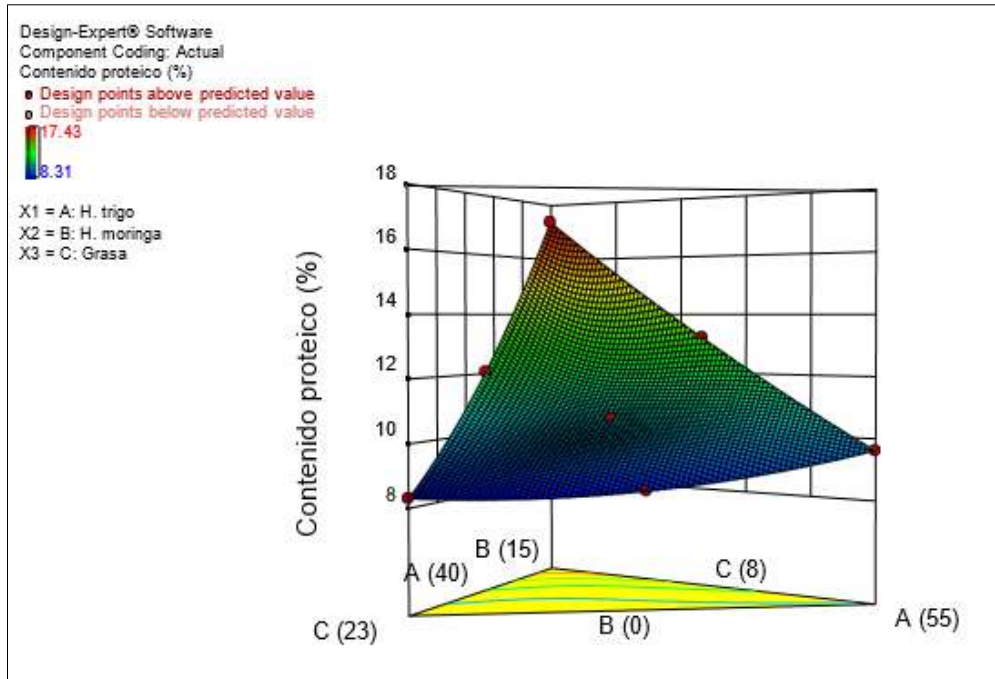


Figura 20: Superficie de respuesta para el contenido proteico de las galletas en función del porcentaje de harina de trigo (x1), harina de torta de semilla de moringa (x2) y grasa (x3)

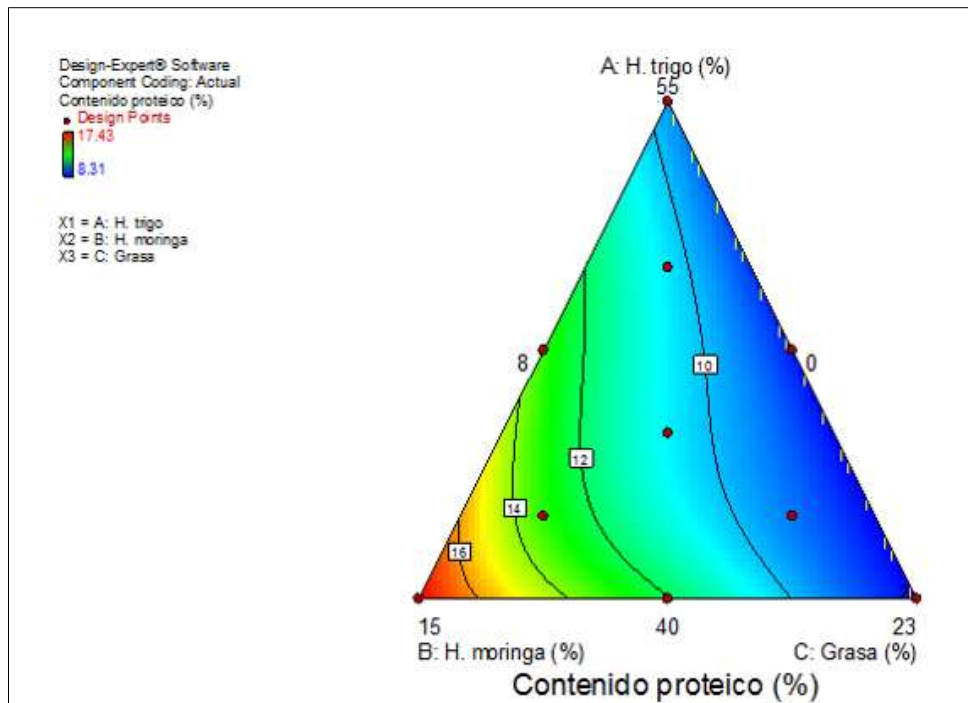


Figura 21: Contornos de la superficie de respuesta para el contenido proteico de las galletas

Tabla 30: Resultados del ANVA para el modelo de regresión de las tres variables respuestas en las galletas con harina de torta de semilla de moringa obtenida por expeller

Variable Respuesta	Término del modelo	R ²	R ² ajustado	R ² predicho	Valor F calculado	Valor F tabular	p value Prob > F
Dureza	Cuadrática	0,9908	0,9851	0,9807	172,97	F(5,8,α=0,05) = 3,69	<0,0001
Factor de expansión	Cuadrática	0,9780	0,9643	0,9027	71,26	F(5,8,α=0,05) = 3,69	<0,0001
Contenido proteico	Especial cuartica	0,9999	0,9998	0,9928	10371,19	F(8,5,α=0,05) = 4,82	<0,0001

El coeficiente de determinación (R²), indica el porcentaje de variación de la variable respuesta o dependiente que es explicada por las variables independientes que han sido admitidas en el modelo elegido. Respecto al R² ajustado, Rodríguez & Mora (2001) señalan que dicho coeficiente mide lo mismo que el R² pero no queda influenciado por el número de variables que se introdujo en el modelo. Además, el R² predicho está en relación con el R² ajustado ya que la diferencia debe ser menor que 0,2 como indica State- Ease (2016) y ello se cumple en las variables respuestas analizadas.

4.4. SELECCIÓN DE LAS MEJORES FORMULACIONES DE GALLETAS DULCES

4.4.1. GALLETAS CON SUSTITUCIÓN DE HARINA DE TORTA DE SEMILLA DE MORINGA OBTENIDA POR PRENSA

De la Tabla 27 ya indicada, se determinaron los valores mínimo y máximo observados en cada variable respuesta:

- Dureza: 837,9 y 3655,1 gf
- Factor de expansión de la galleta: 69,34 y 116,35 por ciento
- Contenido proteico: 8,31 y 20,3 por ciento

Estos límites junto a las restricciones establecidas para cada factor según la tabla 14, fueron colocadas en el *software* Design Expert y considerándose todas las variables respuesta con el mismo peso en importancia, se obtuvo la formulación óptima que se muestra en la Tabla 31.

El *software* Design Expert arrojó como formulación óptima una composición de 40; 12,1 y 10,9 por ciento de harina de trigo, harina de torta de semilla de moringa obtenida por prensa y grasa, respectivamente. Presentando como variables respuesta teóricas una dureza de 2601,45 gf, factor de expansión 85,26 por ciento y 17,61 por ciento de proteínas.

El valor de deseabilidad global (D) da una visión general de la deseabilidad de todas las variables respuestas combinadas. El valor obtenido ($D = 0,918$), al ser un valor próximo a uno; indica que existe un equilibrio favorable entre todas las variables respuestas estudiadas (Derringer & Suich, 1980). En la Figura 22 se presenta el gráfico de contornos, en el cual se muestra el punto de la formulación óptima (el de mayor deseabilidad global).

Tabla 31: Composición de la formulación óptima, variables respuestas teóricas y deseabilidad global obtenidas tras la optimización simultánea de respuestas con el *software* Design Expert

Formulación	Composición			Variables respuestas teóricas			Deseabilidad global
	Harina de trigo (%)	Harina de torta de semilla de moringa (%)	Grasa (%)	Dureza (gf)	Factor de expansión (%)	Contenido proteico (%)	
F. Óptima	40,0	12,1	10,9	2601,45	85,26	17,61	0,918

En la Tabla 32 se muestran las variaciones entre los valores teóricos de las variables respuesta (dureza, factor de expansión y contenido proteico) dados por el *software* Design Expert y los obtenidos experimentalmente. Como se observa, las variaciones de la prueba experimental fueron muy pequeñas respecto a las teóricas; lo cual indica una correcta validación de los datos.

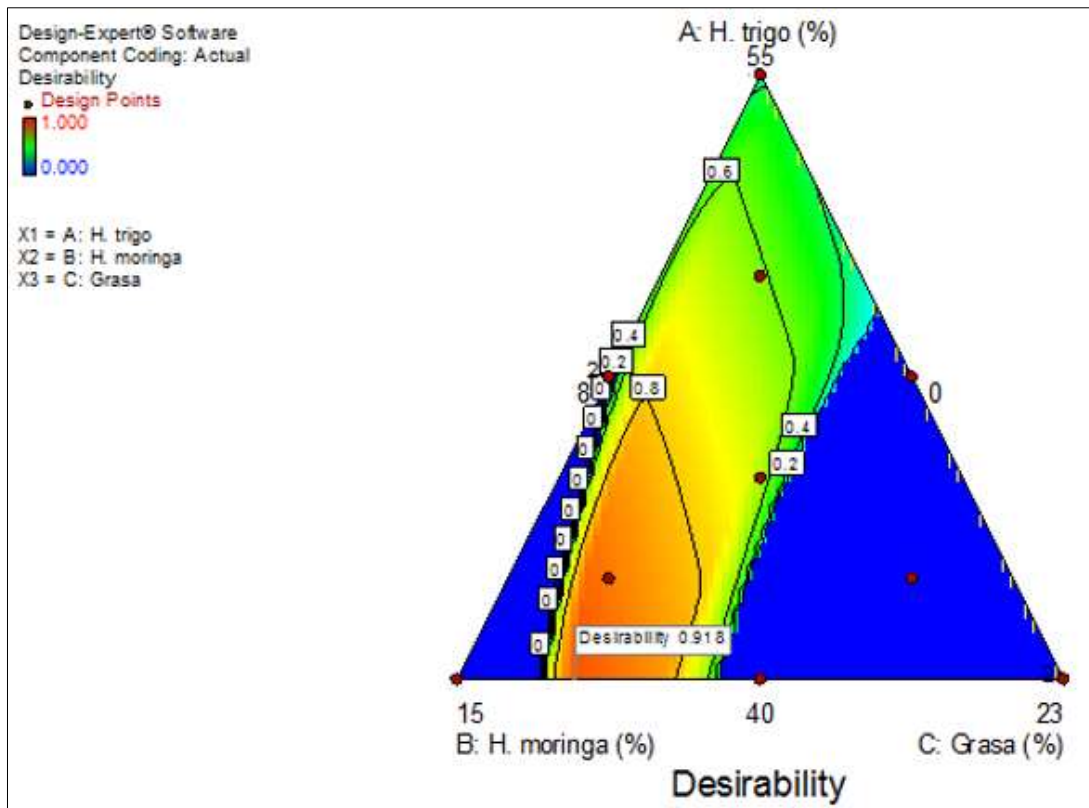


Figura 22: Gráfico de contornos mostrando el punto de la formulación óptima y su deseabilidad global

Tabla 32: Variación de las variables respuesta entre el *software* Design Expert y la prueba experimental

Origen de la variable respuesta	Composición de la Formulación óptima dada por el <i>software</i> Design Expert			Variables respuestas		
	Harina de trigo (%)	Harina de torta de semilla de moringa (%)	Grasa (%)	Dureza (gf)	Factor de expansión (%)	Contenido proteico (%)
<i>Software</i> Design Expert				2601,45	85,26	17,61
Prueba Experimental	40,0	12,1	10,9	2668,31	86,79	17,0
Variación Prueba experimental VS Design Expert				2,57 %	1,80 %	-3,46 %

4.4.2. GALLETAS CON SUSTITUCIÓN DE HARINA DE TORTA DE SEMILLA DE MORINGA OBTENIDA POR EXPELLER

De la Tabla 29 ya indicada, se determinaron los valores mínimo y máximo observados en cada variable respuesta:

- Dureza: 837,9 y 4492,8 gf
- Factor de expansión de la galleta: 62,87 y 116,35 por ciento
- Contenido proteico: 8,31 y 17,43 por ciento

Estos límites junto a las restricciones establecidas para cada factor según la tabla 14, fueron colocadas en el *software* Design Expert y considerándose todas las variables respuesta con el mismo peso en importancia, se obtuvo la formulación óptima que se muestra en la Tabla 33.

Tabla 33: Composición de la formulación óptima, variables respuestas teóricas y deseabilidad global obtenidas tras la optimización simultánea de respuestas con el *software* Design Expert

Formulación	Composición			Variables respuestas teóricas			Deseabilidad global
	Harina de trigo (%)	Harina de torta de semilla de moringa (%)	Grasa (%)	Dureza (gf)	Factor de expansión (%)	Contenido proteico (%)	
F. Óptima	40,0	11,4	11,6	2736,33	85,24	14,65	0,884

El *software* Design Expert arrojó como formulación óptima una composición de 40; 11,4 y 11,6 por ciento de harina de trigo, harina de torta de semilla de moringa obtenida por expeller y grasa, respectivamente. Presentando como variables respuesta teóricas una dureza de 2736,33 gf, factor de expansión 85,24 por ciento y 14,65 por ciento de proteínas.

El valor de deseabilidad global (D) da una visión general de la deseabilidad de todas las variables respuestas combinadas. El valor obtenido (D = 0,884), al ser un valor próximo a

uno; indica que existe un equilibrio favorable entre todas las variables respuestas estudiadas (Derringer & Suich, 1980). En la Figura 23 se presenta el gráfico de contornos, en el cual se muestra el punto de la formulación óptima (el de mayor deseabilidad global).

En la Tabla 34 se muestran las variaciones entre los valores teóricos de las variables respuesta (dureza, factor de expansión y contenido proteico) dados por el *software* Design Expert y los obtenidos experimentalmente. Como se observa, las variaciones de la prueba experimental fueron muy pequeñas respecto a las teóricas; lo cual indica una correcta validación de los datos.

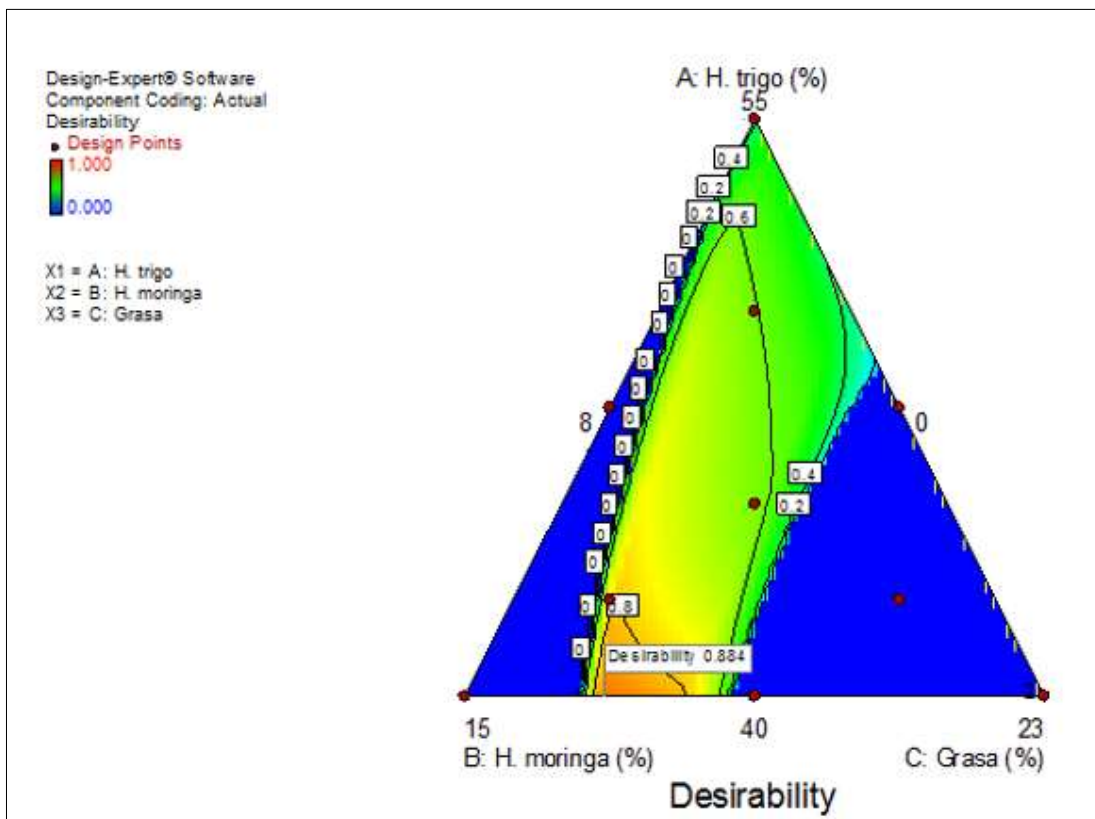


Figura 23: Gráfico de contornos mostrando el punto de la formulación óptima y su deseabilidad global

Tabla 34: Variación de las variables respuestas entre el *software* Design Expert y la prueba experimental

Origen de la variable respuesta	Composición de la Formulación óptima dada por el <i>software</i> Design Expert			Variables respuestas		
	Harina de trigo (%)	Harina de torta de semilla de moringa (%)	Grasa (%)	Dureza (gf)	Factor de expansión (%)	Contenido proteico (%)
<i>Software</i> Design Expert				2736,33	85,24	14,65
Prueba Experimental	40,0	11,4	11,6	2807,75	84,81	14,20
Variación Prueba experimental VS Design Expert				2,61 %	-0,50 %	-3,07 %

4.5. EVALUACIÓN SENSORIAL DE LAS DOS MEJORES FORMULACIONES DE GALLETAS DULCES

En la Tabla 35 se muestran los resultados de la evaluación sensorial de las dos mejores formulaciones de galletas dulces indicadas anteriormente.

La muestra 174 tuvo una mayor aceptabilidad que la 325, con un puntaje promedio de 7,3 y 6,4; y desviación estándar de 1,5 y 1,4; respectivamente. Con el promedio se tuvo una opinión de los consumidores acerca de la aceptabilidad general de cada muestra y con la desviación estándar, la discrepancia entre los consumidores respecto a la puntuación de cada muestra.

Según los comentarios de los consumidores encuestados, la 174 presentó mejor homogeneidad en la superficie de la galleta en cuanto al color y era más suave, en cambio la 325 tenía un color más pronunciado en los bordes que en el centro según se observa en el Anexo 6 y era un poco más dura. La mayoría de los consumidores detectaron un sabor residual en la muestra 325 que desaparecía a los 5 minutos promedio después de haber consumido la galleta, por lo que también influyó en la evaluación de cada consumidor.

Tabla 35: Resultados de la evaluación sensorial de las dos mejores formulaciones de galletas dulces

Panelista	Con harina de moringa obtenida por		Diferencia	Dif ²
	Prensa (174)	Expeller (325)		
1	5,4	9,9	-4,5	20,20
2	9,7	9,0	0,7	0,55
3	8,2	7,3	0,9	0,72
4	9,5	3,9	5,7	31,95
5	8,4	6,9	1,5	2,24
6	5,6	4,4	1,2	1,44
7	6,1	7,5	-1,5	2,22
8	8,3	5,6	2,7	7,30
9	9,9	3,8	6,1	37,36
10	9,8	9,5	0,3	0,09
11	8,3	7,2	1,0	1,07
12	6,2	5,5	0,7	0,47
13	7,6	6,3	1,3	1,74
14	5,9	6,4	-0,5	0,22
15	5,0	6,2	-1,2	1,34
16	3,9	8,3	-4,5	20,07
17	8,3	7,8	0,6	0,33
18	7,6	6,4	1,2	1,50
19	7,9	4,9	3,0	8,90
20	8,3	6,9	1,4	1,97
21	7,3	5,5	1,9	3,52
22	6,0	7,3	-1,4	1,83
23	8,0	5,8	2,1	4,62
24	7,8	4,5	3,3	10,63
25	8,3	6,8	1,6	2,53
26	6,2	5,5	0,8	0,60
27	6,9	5,6	1,2	1,52

Continuación:

28	5,9	5,4	0,5	0,25
29	5,5	6,7	-1,2	1,35
30	3,9	7,8	-3,9	15,40
31	8,6	7,5	1,1	1,21
32	7,1	6,4	0,7	0,51
33	8,1	4,9	3,2	10,19
34	8,4	6,5	1,9	3,61
35	7,2	5,1	2,1	4,41
36	7,0	5,8	1,2	1,44
37	6,3	5,4	0,9	0,86
38	5,9	6,6	-0,7	0,49
39	7,7	4,5	3,2	10,00
40	8,1	6,8	1,3	1,80
41	6,2	7,1	-0,9	0,81
42	8,5	5,9	2,6	6,76
43	9,5	4,2	5,3	28,09
44	9,8	9,1	0,7	0,49
45	8,1	7,0	1,1	1,21
46	6,5	5,7	0,8	0,64
47	7,8	6,7	1,1	1,21
48	6,2	7,1	-0,9	0,81
49	5,1	6,3	-1,2	1,44
50	4,9	7,8	-2,9	8,41
Total	362,7	320,9	$\Sigma D = 41,76$	$\Sigma D^2 = 10,08$
Promedio	7,3	6,4		
Desv. Est.	1,5	1,4		

Los resultados obtenidos coinciden con los datos reportados en la Tabla 20, en la cual la harina de moringa obtenida por expeller presentó mayor contenido de antinutrientes que dejan un sabor amargo en la muestra, a comparación de la harina de moringa obtenida por prensa. A pesar de que las galletas fueron sometidas a una temperatura de 155 °C por 10 minutos, estos compuestos no desaparecen porque no son volátiles. McAllister *et al.* (1994)

mencionan que los antinutrientes afectan tanto las características sensoriales como el valor biológico del alimento.

El análisis estadístico realizado mediante la prueba *t* de Student como se indica en el Anexo 7 determinó que sí existía diferencia significativa al 5 por ciento entre las dos galletas evaluadas, eligiendo como la mejor la muestra 174 (galleta elaborada con harina de moringa obtenida por prensa) que tuvo un mayor puntaje. Al respecto de la prueba, Pedrero & Pangborn (1996) indican que es una técnica sencilla de aplicar y no requiere entrenamiento por parte de los panelistas. Esta prueba permite detectar el nivel de agrado que una muestra representa para una población en particular y la comparación se aplicó en muestras relacionadas o dependientes, ya que fueron analizadas por un mismo consumidor o el número de observaciones para cada muestra fueron iguales.

4.6. CARACTERIZACIÓN DEL PRODUCTO FINAL

En la Tabla 36 se muestra el análisis proximal de la galleta seleccionada en la evaluación sensorial (elaborada con harina de moringa obtenida por prensa).

Tabla 36: Análisis proximal de la galleta con harina de moringa obtenida por prensa

Componente (g/100g muestra)	Base húmeda	Base seca
Humedad	1,21 ± 0,02	1,22 ± 0,02
Proteína Total (N x 6.25)	17,00 ± 0,05	17,21 ± 0,05
Grasa	11,62 ± 0,04	11,76 ± 0,04
Fibra cruda	1,35 ± 0,04	1,37 ± 0,04
Cenizas	2,13 ± 0,02	2,16 ± 0,02
Carbohidratos	66,69	67,51

Los resultados obtenidos se encuentran dentro de lo indicado por la NTP 206.001 (ITINTEC, 1981), donde se especifica que la humedad de una galleta debe ser máximo 12 por ciento y cenizas menor al 3 por ciento.

En la Tabla 37 se muestran los análisis adicionales (pH, acidez e índice de peróxido) de la mejor galleta sensorialmente.

Tabla 37: Análisis adicionales de la galleta con harina de moringa obtenida por prensa

Análisis	Resultado
pH	7,38 ± 0,02
Acidez (% ácido láctico)	0,032 ± 0,01
Índice de peróxido (meq O ₂ /kg grasa)	0,72 ± 0,03

Los resultados obtenidos concuerdan con la NTP 206.001 (ITINTEC, 1981), donde se indica que la acidez de una galleta debe ser máximo 0,1 por ciento e índice de peróxido máximo 5 meq O₂/kg grasa.

Según Bedolla *et al.* (2011) citado por Contreras (2015), las galletas tanto las finas como las comerciales tienen un valor mínimo y máximo de pH igual a 6 y 8 respectivamente. Mientras que Pylar (1988) menciona un rango óptimo de pH entre 7,3 y 7,9 para galletas dulces. El valor obtenido para la galleta óptima fue de 7,38 y cumple con lo mencionado por ambos autores. La NTP 206.001 (ITINTEC, 1981) no indica rango alguno para esta variable.

En el Anexo 3 se muestran los resultados de la prueba de Valor Biológico Verdadero en la mejor galleta sensorialmente, obteniendo 65,5 por ciento; a pesar que la galleta elegida tiene un alto contenido proteico, es deficiente en lisina por lo que se ve afectada en la calidad proteica del producto final.

El valor obtenido (65,5%) ubica a la muestra en una “calidad buena” de acuerdo a la clasificación de proteínas según su calidad nutricional señalado por Genta *et al.* (1998) quienes consideran un rango de valor biológico de 28-57, 57-72 y > 72 por ciento para una calidad baja, buena y alta, respectivamente.

Por otro lado, el producto obtenido tiene un valor biológico (en porcentaje) mayor que el

arroz (64,0), maíz (59,4), trigo integral (64,7), frijoles negros (64,3), frijoles colorados (45,5) y lentejas (44,6); valores reportados por Cardellá *et al.* (2007). Este resultado puede ser atribuido a la incorporación de leche descremada en polvo en la formulación y elaboración de galletas de esta investigación, a pesar que el contenido fue mínimo, esto permitió que el valor biológico sea mayor a comparación de la harina de torta de semilla de moringa individualmente, la cual tiene un valor biológico de 56,9 por ciento, según Silva *et al.* (2018).

V. CONCLUSIONES

1. La harina de torta de semilla de moringa obtenida por prensa y por expeller reportaron la siguiente composición química: 11,08 y 9,15 por ciento de humedad; 71,2 y 56,43 por ciento de proteína; 0,06 y 0,03 por ciento de grasa; 5,35 y 12,09 por ciento de fibra; 5,06 y 6,81 por ciento de cenizas; 7,25 y 15,49 por ciento de carbohidratos; 1,72 y 2,15 por ciento de fitatos y 0,12 y 0,23 por ciento de saponinas respectivamente.
2. El perfil aminoacídico (g de aa/16gN) de la harina de moringa obtenida por prensa y por expeller fue de 4,48 y 3,83 en histidina; 1,40 y 0,73 en lisina; 3,88 y 8,49 en leucina; 0,31 y 0,30 en isoleucina; 3,12 y 3,37 en valina; 7,29 y 6,45 en treonina; 1,03 y 0,94 en triptófano, respectivamente.
3. Respecto al Análisis Granulométrico, la harina de moringa obtenida por prensa y por expeller presentaron un módulo de finura de 0,389 y 0,367; tamaño promedio de partícula de 136,4 y 134,3 micras; pH de 6,44 y 6,35; acidez de 0,061 y 0,074 por ciento; respectivamente. Además, ninguna de las harinas de moringa presentó gluten.
4. Las mejores formulaciones de galleta con harina de moringa obtenida por prensa y por expeller presentaron la siguiente composición: 40,0 y 40,0 por ciento de harina de trigo; 12,1 y 11,4 por ciento de harina de moringa y 10,9 y 11,6 por ciento de grasa, respectivamente.
5. Las dos mejores galletas elaboradas con harina de moringa (obtenida por prensa y por expeller) evaluadas sensorialmente tuvieron un puntaje promedio de 7,3 y 6,4; respectivamente, presentando diferencias significativas al 5 por ciento.
6. La galleta con mayor aceptación sensorial fue la elaborada con harina de torta de semilla de moringa obtenida por prensa, presentando la siguiente composición química: 1,21 por ciento de humedad; 17,00 por ciento de proteína; 11,62 por ciento de grasa; 1,35 por ciento de fibra; 2,13 por ciento de cenizas; 66,69 por ciento de carbohidratos; pH 7,38; 0,032 por ciento de acidez; índice de peróxido 0,72 meq O₂/kg grasa y valor biológico verdadero 65,5 por ciento la cual clasifica a la galleta con una calidad nutricional “buena”.

V. RECOMENDACIONES

- Seguir investigando otros métodos para el proceso de desamargado (disminución de antinutrientes) de la torta de semilla de moringa.
- Realizar investigaciones utilizando materias primas que contengan alto porcentaje de lisina para incluirlo conjuntamente con harina de moringa y obtener galletas con alto valor nutricional.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- American Association of Cereal Chemist. (1995). Approved Methods of the AACC (9° ed.). Minnesota, EE.UU.
- Academia del Área de Planta Piloto de Alimentos. (2004). Introducción a la Tecnología de Alimentos (2° ed.). Ciudad de México, México: Limusa.
- Aguilar, J.; Jaén, J.; Vargas, A.; Jiménez, P.; Vega, I.; Herrera, J.;... Soto, R. (2012). Extracción y evaluación de taninos condensados a partir de la corteza de once especies maderables de Costa Rica. *Tecnología en Marcha*, 25(4): 15-22.
- Aguilera, A. (2014). Pasta de ajonjolí (*Sesamum indicum*) un alimento proteico para cerdos y lechones recién destetados con base a sus características químicas y a la respuesta fisiológica del aparato digestivo (Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Querétaro). Recuperada de <http://ring.uaq.mx/bitstream/123456789/533/1/RI000748.pdf>
- American Institute of Baking. (s.f.). Procedimiento Estándar AIB para determinar la dureza en galletas. Recuperado de <https://www.aibonline.org/aibOnline/Documents/EN/DevelopYourProductSolutions/AIBTextureAnalysisProcedures.pdf>
- Alfaro, N. (2008). 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 (Informe Final del Proyecto FODECYT N° 26 - 2006). Recuperado de <http://glifos.senacyt.gob.gt/digital/fodecyt/fodecyt%202006.26.pdf>
- Alfaro, N. & Martínez, W. (2008). Uso Potencial de la Moringa (*Moringa oleífera Lam*) para la Producción de Alimentos Nutricionalmente Mejorados. Recuperado de https://www.sica.int/documentos/uso-potencial-de-la-moringa-moringa-oleifera-lam-para-la-produccion-de-alimentos-nutricionalmente-mejorados_1_36997.html

- Anhwange, B.; Ajibola, V.; Oniye, S. (2004). Chemical Studies of the sedes *Moringa oleifera* (Lam) and *Detarium microcarpum* (Guill and Sperr). *Journal Biological Sciences*, 4(6): 711 – 715.
- Annongu, A.; Karim, O.; Toyel, A.; Sola-Ojo, F.; Kayode, R.; Badmos, A.; Adeyemi, K. (2014). Geo-Assessment of Chemical Composition and Nutritional Evaluation of *Moringa oleifera* Seeds in Nutrition of Broilers. *Journal of Agricultural Science*, 6(4): 119-124.
- Association of Official Analytical Chemists. (2012). *Official methods of analysis of AOAC International* (19^o ed.). Washington, EEUU: Board.
- Barrera, J. & Bello, M.L. (2004). Efecto de diferentes niveles de *Moringa oleifera* en la alimentación de vacas lecheras criollas sobre el consumo, producción y composición de la leche (Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria). Recuperada de <https://repositorio.una.edu.ni/1301/1/tnl02b272.pdf>
- Beltrán, S.J. & Puerto, P.A. (2006). Transformación de la seta comestible shiitake (*Lentinula edodes*) en harina como sustituto para elaborar galleta dulce de regado (Tesis de pregrado, Universidad de la Salle). Recuperada de https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1030&context=ing_alimentos
- Benavides, Y.L. (2012). Diseño y Ejecución del Plan de Entrenamiento del Panel de Análisis Sensorial en Compañía de Galletas Noel S.A.S. (Trabajo de pregrado, Corporación Universitaria Lasallista). Recuperada de http://repository.unilasallista.edu.co/dspace/bitstream/10567/801/1/Entrenamiento_panel_sensorial_Galletas_Noel.pdf
- Bennion, E. (1970). *Fabricación de pan*. Zaragoza, España: Acribia.
- Bondari, K. (2005). Mixture Experiments and Their Applications in Agricultural Research. *SAS Users Group International Conference*, 209(30): 1-8. Recuperada de <https://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.176.1212&rep=rep1&type=pdf>
- Calaveras, J. (2004). *Nuevo Tratado de Panificación y Bollería* (2^o ed.). Madrid, España: AMV ediciones y Mundi-prensa.
- Calderón, V. (2012). Celiaquía: Alternativas para una dieta libre de gluten. *Ciencia y Tecnología*, 17(23): 11-15.
- Cardellá, L.; Hernández, R.; Ponce, C.; Vicedo, A.; Sierra, S.; Rubio, E.; Fernández, R. (2007). *Bioquímica Humana*. La Habana, Cuba: Ciencias Médicas.

- Carson, L. & Sun, X. (2001). Creep – Recovery of bread and correlation to sensory measurements of textural attributes. *Cereal chemists*, 78(1): 101 – 104.
- Charley, H. (1991). *Tecnología de Alimentos: procesos físicos y químicos en la preparación de alimentos*. Ciudad de México, México: Limusa.
- Chepote, J. (07 de enero de 2013). Avanza la producción de Moringa en Perú. Agencia Agraria de Noticias. Recuperado de <https://agraria.pe/noticias/avanza-la-produccion-de-moringa-en-peru-4336>
- Chirinos, O.; Adachi, L.; Calderón, F.; Díaz, R.; Larrea, L.; Mucha, G.; Roque, L. (2009). *Exportación del Sacha Inchi al mercado de Estados Unidos*. Lima, Perú: Coordillera.
- Clavijo, C. (2004). *Extracción de Aceite de Semilla de Maqui (Aristotelia chilensis (Mol.) Stuntz) por prensado en frío, caracterización química del aceite y mejoramiento del proceso mediante tratamiento enzimático de la semilla previo al prensado* (Tesis de maestría, Universidad de Chile). Recuperada de https://bibliotecadigital.ciren.cl/bitstream/handle/20.500.13082/10580/UCHILE_50.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Contreras, D. (2015). *Desarrollo de una galleta dulce enriquecida con harina de quinua blanca (Chenopodium quinoa) utilizando diseño de mezclas* (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Cornell, J. (2002). *Experiments with Mixtures: Designs Models and the Analysis of Mixture Data* (3° ed.). New York, EE.UU.: John Wiley & Sons, Inc.
- Coultate, T. (2007). *Manual de Química y Bioquímica de los Alimentos* (3° ed.). Zaragoza, España: Acribia.
- D'Melo, J. (2000). Factores antinutricionales y micotoxinas. En J. D'Mello (Ed.), *Metabolismo y nutrición de los animales de granja* (p. 383-403). Wallingford, Reino Unido: CABI Publishing.
- Dachana, K.; Rajiv, J.; Indrani, D.; Prakash, J. (2010). Effect of dried Moringa (*Moringa Oleifera Lam*) leaves on rheological, microstructural, nutritional, textural and organoleptic characteristics of cookies. *Journal of Food Quality*, 33(5): 660-677.
- Derringer, G. & Suich, R. (1980). Simultaneous Optimization of Several Response Variables. *Journal of Quality Technology*, 12(4):214-219.
- Fennema, O. (1996). *Química de los Alimentos* (2° ed.). Zaragoza, España: Acribia.
- Fernández, A. (2014). *Subproductos de regiones templadas. Transformación de subproductos y residuos de agroindustria de cultivos templados, subtropicales y*

- tropicales en carne y leche bovina (p. 13-112). Buenos Aires, Argentina: Ediciones INTA.
- Folkard, G. & Sutherland, J. (1996). *Moringa oleífera* un árbol con enormes potencialidades. *Agroforestry Today*, 8(3): 5-8.
- Gaines, C.; Kassuba, A.; Finney, P. (1992). Instrumental Measurement of cookie hardness. I. Assessment of Methods. *Cereal Chemistry*, 69(2): 115-119. Recuperado de https://www.cerealsgrains.org/publications/cc/backissues/1992/Documents/69_115.pdf
- Gallardo, M. (2008). Soja, harinas de extracción para la alimentación del ganado: un análisis de las cualidades nutricionales de los diferentes tipos, de acuerdo al método de extracción utilizado. *Producción Animal*. Recuperado de https://www.produccion-animal.com.ar/tablas_composicion_alimentos/12-soja.pdf
- Gallegos, A. (1999). Alimentación de terneras lecheras utilizando torta de palmiste (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Garavito, U. (2008). *Moringa Oleífera*, alimento ecológico para ganado vacuno, porcino, equino, aves y peces, para alimentación humana, también para producción de etanol y biodiesel. Corporación Ecológica Agroganadera S.A. Recuperado de <https://www.engormix.com/avicultura/articulos/moringa-oleifera-t27430.htm>
- García, A.; Martínez, R.; Rodríguez, I. (2013). Evaluación de los usos potenciales del Teberinto (*Moringa oleífera*) como generador de materia prima para la Industria Química (Tesis de pregrado, Universidad de El Salvador). Recuperada de <https://ri.ues.edu.sv/id/eprint/3167/1/Evaluaci%c3%b3n%20de%20los%20usos%20potenciales%20del%20Teberinto%20Moringa%20ole%c3%adfer%20como%20generador%20de%20materia%20prima%20para%20la%20industria%20qu%c3%admica.pdf>
- Genta, H.; Jandula, A.; Alvarez, N. (1998). Elaboración de golosinas de buena calidad nutricional a partir de residuos industriales de soja. *Información Tecnológica*, 9(4): 143-146.
- Hernández, M. & Sastre, A. (1999). *Tratado de Nutrición*. Madrid, España: Ediciones Díaz de Santos.
- Herrera, I. (2009). Obtención de galletas fortificadas con salvado de quinua (*Chenopodium quinoa*), kañihua (*Chenopodium pallidicaule aellen*) y kiwicha (*Amarathus caudatus*) (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

- International Association for Cereal Science and Technology. (2001). Standard Methods of the International Association for Cereal Science and Technology. Vienna, Austria.
- Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas. (1981). Normas oficiales. Lima, Perú.
- Instituto de Investigación Tecnológica Industrial y de Normas Técnicas. (1986). Normas oficiales. Lima, Perú.
- Kent, N. (1971). Tecnología de los Cereales. Zaragoza, España: Acribia.
- Kirk, R. & Sawyer, R. (1987). Análisis químico de alimentos de Pearson. México: Compañía Editorial Continental S.A.
- Kuhn, M. (22 de setiembre de 2016). The desirability package. Recuperado de <http://cran.r-project.org/web/packages/desirability/vignettes/desirability.pdf>
- Kumar, C.; Appu, A.; Singh, S. (2009). Effect of infrared heating on the formation of sesamol and quality of defatted flours from *Sesamum indicum L.* Journal of Food Science, 74(4): 105-111.
- Mandala, I.; Ioannou, C.; Kostaropoulos, A. (2006). Textural attributes of commercial biscuits. Effect of relative humidity on their quality. International Journal of Food Science and Technology, 41(7): 782-789.
- Manley, W. (1989). Tecnología de la Industria Galletera: galletas, crackers y otros productos horneados. Zaragoza, España: Acribia.
- Márquez, C. & Ciro, H. (2002). Deshidratación de mora de castilla (*Rubus Glaucus*) bajo régimen convectivo con aire forzado. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, 55 (2): 1587-1600.
- McAllister, A.; Bae, D.; Jones, A.; Cheng, J. (1994). Microbial attachment and feed digestion in the rumen. Journal Animal Science, 72(11): 3004-3018.
- Miller, D. & Bender, A. (1955). The determination of the net utilization of proteins by a shortened method. British Journal of Nutrition, 9(4): 382-388. doi: <https://doi.org/10.1079/BJN19550055>
- Nieto, C. & Soria, M. (1991). Procesamiento de quinua en Ecuador (Informe final de labores Proyecto 3P-85-0213). INIAP. Recuperado de <https://idl-bnc-idrc.dspacedirect.org/bitstream/handle/10625/12159/88986.pdf?sequence=1&isAllo wed=y>
- Niño de Guzmán, (1999). Determinación de la energía metabolizable para aves de la torta de girasol de prensa por dos métodos (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

- Oliver, C.; Melton, L.; Stanley, R. (2006). Creating proteins with novel functionality via the Maillard Reaction. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 46(4): 337-350.
- Organización Mundial de la Salud. (1985). Necesidades de energía y de proteínas. Recuperado de http://apps.who.int/iris/bitstream/10665/40157/1/WHO_TRS_724_%28part1%29_spa.pdf
- Pareyt, B.; Talhaoui, F.; Brijs, K.; Wevers, M. (2009). The role of sugar and fat in sugar-snap cookies: structural and textural properties. *Journal of Food Engineering*, 90(3): 400- 408.
- Pedrero, D. & Pangborn, R. (1996). *Evaluación Sensorial de los Alimentos: Métodos Analíticos*. Ciudad de México, México: Alhambra.
- Ramos, C.; Farias, D.; Amaral, N.; Bezerra, E.; Francisco, G. (2010). Caracterização Físico-Química Da Moringa (*Moringa oleifera* Lam). *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, 12(1): 55-60.
- Rau, M. (2011). Moringa: The science behind the miracle tree. *Science in School*, 1(18): 21-26. Recuperado de https://www.scienceinschool.org/wp-content/uploads/2014/11/issue18_moringa.pdf
- Reyes, N.; Spöndly, E.; Ledin, I. (2006). Effect of feeding different levels of foliage of *Moringa oleifera* to creole dairy cows on intake, digestibility, milk production and composition. *Livestock Science*, 101(1-3): 24–31.
- Riquelme, C. (1997). *Evaluación de algunos métodos de extracción de aceite de avellana (Genuina avellana Mol.)* (Tesis de pregrado). Universidad de Concepción, Chillán, Chile.
- Martínez, J.; Carballo, A.; Rocha, L. (2011). Valoración de las Propiedades Nutricionales de *Moringa oleifera* en el Departamento de Bolívar. *Revista de Ciencias*, 15: 23-30. Recuperado de https://revistaciencias.univalle.edu.co/index.php/revista_de_ciencias/article/view/514/636
- Rodríguez, M. & Mora, R. (2001). *Estadística Informática: Casos y Ejemplos con el SPSS*. Alicante, España: Universidad de Alicante.
- Rojas, D. (2001). Determinación del nivel de sustitución de puré de yuca (*Manihot esculenta Crantz*) en la elaboración de galletas dulces (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.

- Ruiz, C.; Díaz, C.; Anaya, J.; Rojas, R. (2013). Análisis proximal, antinutrientes, perfil de ácidos grasos y de aminoácidos de semillas y tortas de dos especies de sachá inchi (*Plukenetia volubilis* y *Plukenetia huayllabambana*). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 79(1): 29- 36.
- Ruiz, L. (2011). 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 (Tesis de pregrado, Universidad de San Carlos de Guatemala). Recuperada de http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_1210_Q.pdf
- Sánchez, J. (2004). Aplicación de floculantes naturales a la potabilización de aguas. En Ministerio de Educación Cultura y Deporte (Ed.), *Certamen universitario Arquímedes de introducción a la investigación científica*. España.
- Sarria, A. (s.f). *Bioquímica Nutricional de las Proteínas*.
- Sharaf, A.; Ebrahium, M.; Ammar, M.; Abd El-Ghany, M. (2009). Influence of Using Moringa Meal Flour as Meat Extender on Quality Characteristics of Beef Burger Patties During Frozen Storage. *World Journal of Dairy and Food Sciences*, 4(1):32-40. Recuperado de [https://idosi.org/wjdfs/wjdfs4\(1\)/7.pdf](https://idosi.org/wjdfs/wjdfs4(1)/7.pdf)
- Silva, M.; Cibej, F.; Salvá, B.; Guevara, A.; Pascual, G. (2018). Efecto del desamargado de la torta de semilla de moringa (*Moringa oleífera*) sobre la composición proximal y los perfiles nutricional y toxicológico. *Scientia Agropecuaria*, 9(2): 247-257. Recuperado de <https://revistas.unitru.edu.pe/index.php/scientiaagrop/article/view/1937/1864>
- Stat-Ease, Inc. (2006). *Mixture Design Tutorial (Part 1/2 – The Basics)*. User guide to Design Expert® Versión 10 Software. Recuperado de www.statease.com/productattachments/index/download?id=13
- Valenzuela, V.E. (2006). Optimización de la obtención de Harina de Nuez (*Juglans Regia*) de la variedad semilla California, Chandler y Serr, y estudio de su estabilidad química en el tiempo (Tesis de pregrado, Universidad de Chile). Recuperada de https://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/105557/qf-valenzuela_v.pdf?sequence=3&isAllowed=y

VII. ANEXOS

ANEXO 1: TORTAS DE SEMILLA DE MORINGA OBTENIDA POR PRENSA Y POR EXPELLER



Figura 1: Torta de semilla de moringa obtenida por prensa





Figura 2: Torta de semilla de moringa obtenida por expeller

ANEXO 2: FORMATO DE EVALUACIÓN SENSORIAL PARA LA PRUEBA DE GRADO DE SATISFACCIÓN

Nombres y Apellidos:	Fecha:/...../.....
	Hora:

1. INDICACIONES

Ud. evaluará dos muestras de galletas en cuanto a la Aceptabilidad General en el orden indicado. Marque con una línea vertical en el punto que corresponda a su valoración para cada muestra.

Código de muestra	Escala lineal
174	
325	

2. OBSERVACIONES:

¡Gracias!

**ANEXO 3: PRUEBA DE VALOR BIOLÓGICO VERDADERO EN LA GALLETA
CON HARINA DE MORINGA OBTENIDA POR PRENSA**

Parámetro	Muestras	
	Dieta proteica con galleta de moringa	Dieta apteica
Número de animales	6	6
Peso inicial (g)	70,03	65,4
Peso final (g)	66,08	58,32
Ganancia de peso (g)	-3,95	-7,08
Alimento consumido (g)	30,50	27,02
Materia seca del alimento (%)	95,48	93,54
Nitrógeno en alimento (%)	1,63	0,11
Nitrógeno consumido (g) – NI	0,4963	0,0285
Promedio de heces excretadas (g)	6,11	4,43
Materia seca de heces (%)	67,63	77,31
Nitrógeno en heces (%)	1,92	1,20
Nitrógeno excretado en heces (g) – NF	0,1156	0,0490
Densidad de la orina	1,0219	1,0035
Promedio de orina excretada (ml)	34,93	29,75
Promedio de orina excretada (g)	35,45	29,87
Nitrógeno en orina (%)	0,74	0,28
Nitrógeno excretado en orina (g) – UN	0,2314	0,0832
VALOR BIOLÓGICO (%)	65,5	----

$$VBv = \frac{NI - (NF - NFK) - (NU - NUK)}{NI - (NF - NFK)} \times 100$$

Donde:

NI: Nitrógeno ingerido por el grupo de animales alimentado con dieta proteica

NF: Nitrógeno excretado en heces del grupo de animales alimentado con dieta proteica

NU: Nitrógeno excretado en orina del grupo de animales alimentado con dieta proteica

NFK: Nitrógeno excretado en heces del grupo de animales alimentado con dieta apteica

NUK: Nitrógeno excretado en orina del grupo de animales alimentado con dieta apteica

ANEXO 4: HARINAS DE TORTA DE SEMILLA DE MORINGA OBTENIDA POR PRENSA (HP) Y POR EXPELLER (HE)





Figura 3: Harina de torta de semilla de moringa obtenida por prensa (HP)



Figura 4: Harina de torta de semilla de moringa obtenida por expeller (HE)

ANEXO 5: GALLETAS CON HARINA DE TORTA DE SEMILLA DE MORINGA

FORMULACIÓN	HT (%)	HM (%)	G (%)	PRENSA	EXPELLER
1	45	5	13		
2	55	0	8	<p>Las galletas en este tratamiento son iguales porque no tienen sustitución de harina de torta de semilla de moringa.</p>	

Continuación:

3

40

15

8



4

40



0

23

Las galletas en este tratamiento son iguales porque no tienen sustitución de harina de torta de semilla de moringa.



Continuación:

5	47,5	7,5	8	
6	47,5	0	15,5	<p>Las galletas en este tratamiento son iguales porque no tienen sustitución de harina de torta de semilla de moringa.</p> 

Continuación:

7

40

7,5

15,5



8





50

2,5

10,5



Continuación:

9	42,5	10	10,5		
10	42,5	2,5	18		

ANEXO 6: MEJORES FORMULACIONES DE GALLETAS CON HARINA DE TORTA DE SEMILLA DE MORINGA

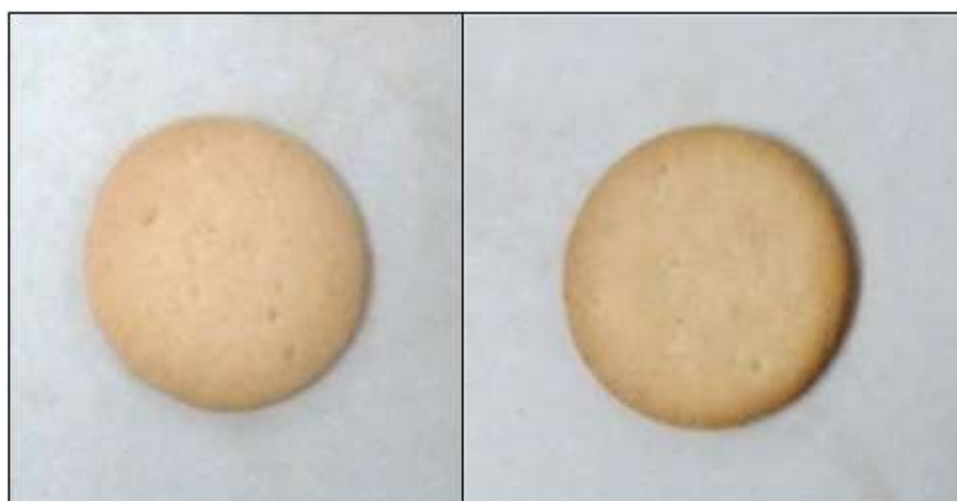


Figura 5: Mejor formulación de galleta con HP (figura de la izquierda) y con HE (figura de la derecha)

ANEXO 7: PRUEBA T DE STUDENT

Comparación de medias:

Ho: $\mu_1 = \mu_2$ (no hay diferencia significativa entre ambas galletas en cuanto a la aceptabilidad general)

Hp: $\mu_1 \neq \mu_2$ (hay diferencia significativa en cuanto a la aceptabilidad general, una galleta es mejor que la otra)

Se rechaza Ho cuando $t \text{ calc} > t \text{ crit}$

Se halló t calculado con la siguiente fórmula:

$$t = \frac{\Sigma D}{\sqrt{\frac{(n \times \Sigma D^2) - (\Sigma D)^2}{g.l.}}}$$

Se reemplazó los siguientes valores:

$n = 50$	$\Sigma D^2 = 310,08$
$\Sigma D = 41,76$	$g.l. = n - 1 = 49$



$$t \text{ calculado } 2,492 > t \text{ critico } 2,01$$

Conclusión: Sí existe diferencia significativa al 5 por ciento entre ambas galletas.