Benemérita Universidad

Autónoma de Puebla

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

“DISEÑO Y ELABORACIÓN DE UNA BARRA ENERGÉTICA CON ALTO CONTENIDO EN FIBRA DE MANZANA (*PYRUS MALUS*) Y BAJO ÍNDICE GLUCÉMICO”

TESIS PROFESIONAL

PARA OBTENER TITULO DE:

INGENIERO EN ALIMENTOS

PRESENTA:

NORMA LIZBETH ROJAS VARGAS

DIRECTOR DE TESIS:

MARÍA ELENA RAMOS CASSELLIS

PUEBLA, PUEBLA. SEPTIEMBRE 2016

BUAP

Oficio No. FIQ/AC/1008/2015
Asunto: Registro de Tema de Tesis

C. NORMA LIZBETH ROJAS VARGAS
PASANTE DE LA LICENCIATURA
EN INGENIERÍA EN ALIMENTOS
P R E S E N T E:

Por medio del presente me permito informarle, de la aprobación del Registro de Tema de Tesis de la Licenciatura en Ingeniería en Alimentos cuyo título es el siguiente:

"DISEÑO Y ELABORACIÓN DE UNA BARRA ENERGÉTICA CON ALTO CONTENIDO EN FIBRA DE MANZANA (*PYRUS MALUS*) Y BAJO ÍNDICE GLUCÉMICO"

Con el siguiente contenido:

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1	**ANTECEDENTES**
CAPÍTULO 2	**METODOLOGÍA**
CAPÍTULO 3	**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

CONCLUSIONES
BIBLIOGRAFÍA

Director de Tesis: Dra. María Elena Ramos Cassellis

Lo cual me permito comunicarle para su conocimiento y fines consiguientes aclarando que la vigencia de este tema será **ÚNICAMENTE POR UN AÑO.**

A T E N T A M E N T E
"Pensar Bien, Para Vivir Mejor"
H. Puebla de Z., 02 de septiembre del 2015

BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
SECRETARÍA ACADÉMICA
1578

M.I.C. MA. GPE. TITA VÁZQUEZ E. DE LOS MONTEROS
SECRETARIA ACADÉMICA

C.c.p. Director de Tesis: Dra. María Elena Ramos Casellis
Minutario Facultad de Ingeniería Química

Facultad de Ingeniería Química
Av. San Claudio s/N, Col. San Manuel, Ciudad Universitaria, Puebla, Pue. C.P. 72570
01 (222) 229 55 00
Ext. 7250 y 7251

CTAI01

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

CIUDAD UNIVERSITARIA

ASUNTO:
AUTORIZACIÓN
IMPRESIÓN DE TESIS

C.P. José Juan Morales Rodríguez
Director de la Administración Escolar
De la BUAP.
Presente

Por este conducto me permito presentar a Ud. al C. pasante de la carrera de Ingeniería

Norma Lizbeth Rojas Vargas

Quién presenta como tema de tesis:

DISEÑO Y ELABORACIÓN DE UNA BARRA ENERGÉTICA CON ALTO CONTENIDO EN FIBRA DE MANZANA (*PYRUS MALUS*) Y BAJO INDICE GLUCEMICO

La cual ha sido debidamente revisada y se autoriza para su impresión correspondiente.

Sin otro particular y para los fines que se estimen conducentes reitero mi distinción.

ATENTAMENTE
"Pensar Bien, para Vivir Mejor"
H. Puebla de Z., a 22 de septiembre de 2016

Director de Tesis
Dra. María Elena Ramos Cassellis

Índice general

I. Resumen **8**

II. Planteamiento **9**

III. Justificación **10**

IV. Objetivo general **11**

V. Objetivos específicos **11**

VI. Hipótesis **11**

CAPITULO I: Generalidades **12**

1.1 Fibra 12

1.1.1 Clasificación de la fibra 13

1.1.2 Recomendaciones de fibra dietaría 15

1.1.3 Propiedades funcionales de la fibra y sus efectos fisiológicos 16

1.1.3.1 Propiedades de hidratación 16

1.1.3.2 Intercambio de cationes 18

1.1.3.3 Absorción de aceite 18

1.1.3.4 Adsorción de moléculas 19

1.1.4 Fibra de manzana 19

1.1.4. 1 Composición química de la fibra de manzana 22

1.1.4.2 Propiedades funcionales de la fibra de manzana 23

1.2 Índice glucémico 24

1.2.1 Índice glucémico y relación con fibra 25

1.3 Fibra en productos de panificación 25

1.4 Barras 26

1.4.1 Función de ingredientes en panificación 27

1.4.1.1 Harina 27

1.4.1.2 Grasa 27

1.4.1.3 Edulcorantes 28

1.4.1.4 Huevos 28
1.4.1.5 Líquidos 28
Capítulo II: Metodología 29
2.1 Diagrama general 29
2.2 Obtención de la fibra de manzana 30
2.3 Formulación de barras energéticas 31
2.4 Diseño experimental 32
2.5 Análisis de perfil de textura 33
2.6 Evaluación de color 33
2.7 Evaluación sensorial 34
2.8 Análisis químico proximal 35
2.8.1 Determinación de humedad (Método de estufa de aire) 35
2.8.2 Determinación de cenizas totales. (Método Gravimétrico) 35
2.8.3 Determinación de extracto etéreo (Método Soxhlet) 35
2.8.4 Determinación de proteínas (Método Kjeldahl) 35
2.8.5 Determinación de fibra dietaría total (TDF) 36
2.9 Determinación del índice glucémico 36
Capítulo III: Resultados 38
3.1 Elaboración de barras 38
3.2 Textura 39
3.2.1 Dureza 39
3.2.2 Fracturabilidad 40
3.3 Evaluación de color 42
3.4 Evaluación sensorial 46
3.5 Evaluación nutrimental 47
3.5.1 Cenizas totales 48
3.5.2 Humedad 49
3.5.3 Extracto etéreo 51
3.5.4 Proteínas 52
3.5.5 Fibra dietaría total (FDT) 53

3.6 Predicción del índice glucémico (GI) 55
Conclusiones **58**
Bibliografías **59**

Índice de tablas

Tabla 1. Caracterización de componentes fibrosos basados en fermentabilidad. 15
Tabla 2. Contenido de fibra insoluble, soluble y total de concentrados de fibra. 21
Tabla 3. Composición química de concentrados de fibra. 23
Tabla 4. Propiedades fisicoquímicas de subproductos de manzana. 24
Tabla 5. Composición química de la fibra de manzana. 30
Tabla 6. Propiedades funcionales de la fibra de manzana. 30
Tabla 7. Ingredientes y cantidades para formulación de barras energéticas. 31
Tabla 8. Diseño experimental para la elaboración de barras energéticas. 32
Tabla 9. Dureza (Kg-f) de la barra control y tratamientos. 39
Tabla 10. Fracturabilidad en barra control y tratamientos. 40
Tabla 11. Efecto de la fibra de manzana sobre los parámetros L*, a* y b*. 43
Tabla 12. Deltas L*, a* , b* y diferencia de color de los tratamientos. 44
Tabla 13. Análisis químico proximal de la barras control y el tratamiento 3. 48
Tabla 14. Productos de panificación sustituidos con fibra de manzana. 55
Tabla 15. IG de la barra control y el tratamiento 3. 56

Índice de figuras

Figura 1. Subproductos del procesamiento de manzana 17

Figura 2. Diagrama general de bloques 26

Figura 3. Parámetros del análisis de perfil de textura instrumental 33

Figura 4. Elaboración de barras 38

Figura 5. Fractura y dureza en las muestras control, tratamientos y barra comercial. 41

Figura 6. Comparación de *L, *a y *b entre una barra comercial y muestras. 44

Figura 7. Resultados de evaluación sensorial 46

Figura 8. Cenizas 49

Figura 9. Determinación de extracto etéreo 52

Figura 10. Determinación de Fibra Dietaria Total (FDT) 54

Figura 11. Curva de liberación de glucosa 56

Anexo1. Textura **65**

Figura 1.1 Análisis de varianza para el parámetro firmeza 65

Figura 1.2 Comparación de medias Tukey del parámetro firmeza 65

Figura 1.3 Análisis de varianza para el parámetro fracturabilidad 66

Anexo 2. Color **67**

Figura 2.1 Análisis de varianza de color 67

Figura 2.2 Comparación de medias Tukey L* 67

Figura 2.3 Análisis de varianza del parámetro a* 68

Figura 2.5 Análisis de varianza del parámetro *b 69

Figura 2.6 Comparación de medias Tukey del parámetro firmeza 69

Figura 2.7 Análisis de varianza para ΔE 70

Figura 2.8 Comparación de medias Tukey para ΔE 70

Anexo 3. Evaluación sensorial **71**

Figura 3.1 Análisis de varianza 71

Figura 3.2 Comparación de medias Tukey 71

I. Resumen

Actualmente subproductos de industrias productoras de sidra son aprovechados para el enriquecimiento de fibra en la dieta. El presente trabajo tuvo como objetivo aprovechar este residuo para su uso en barras energéticas manteniendo la calidad panadera y las propiedades sensoriales, además de contribuir a la salud del consumidor. Se analizó la barra energética con un nivel de sustitución de 7.5% de fibra de manzana a la cual se le realizaron una serie de análisis que comprenden textura instrumental, determinación de color, evaluación sensorial, análisis químicos proximales, fibra dietaría total y predicción del índice glucémico. En el análisis de perfil de textura se presentó una dureza de 3.09±0.15 y una fracturabilidad de 2.17 ±0.07. En la evaluación de color se obtuvo una diferencia de color total (ΔE) de 14.31±0.77. La evaluación sensorial fue presentada a 50 jueces no entrenados quienes mostraron un nivel de agrado del 56%. Los resultados de los análisis químicos proximales fueron de 1.14% de cenizas totales, 4.52 % de humedad, 44.66% de extracto etéreo y 8.18 % de proteína. El contenido de fibra dietética fue de 11.88%. La fibra de manzana en la barra disminuyó 7 unidades con respecto a la barra control; obteniendo un índice glucémico de 77. Por lo anterior se concluye que el uso del polvo resultante del subproducto de sidra de manzana es conveniente para la implementación en barras

II. Planteamiento

En México, el ritmo de vida es cada vez más acelerado y complejo, los horarios para comer se vuelven reducidos, y el tiempo que ocupa la persona en desplazarse de su hogar a su trabajo es mayor. (COMECYT; s.f). Estas actividades pueden traer como consecuencia el deterioro de la salud física, como padecimientos gastrointestinales, cardiovasculares, sobrepeso y obesidad, estas dos últimas a causa de la mala alimentación, el sedentarismo y la falta de alimentos nutritivos (Álvarez, 2014; Kaufer, 2006; Gómez, 2014). Aun cuando una buena alimentación y un nivel adecuado de actividad física son factores que ayudan a mantenerse saludables, actualmente algunos consumidores buscan alimentos que promuevan la salud. Es por ello que en los últimos años las dependencias gubernamentales han presionado a la industria para desarrollar productos más saludables, y como una buena propuesta se encuentran los alimentos con fibra dietética.

La fibra dietética ha sido ampliamente reconocida por los beneficios sobre la salud, debido a que previene el sobrepeso, enfermedades cardiovasculares, diabetes tipo 2; y ayuda a mantener saludable el aparato digestivo en todas las etapas de la vida. En México se ha difundido ampliamente la importancia de la fibra, además existen alimentos altos en fibra accesibles y que forman parte de la cultura alimentaria, a pesar de ello los mexicanos consumen menos de la mitad de la cantidad diaria recomendada de este nutrimento. (Prieto & Villaseñor, 2009)

Debido a los cambios en las actividades y hábitos alimenticios de los mexicanos, se plantea el aprovechamiento de fibra dietética para su incorporación en productos procesados saludables, como una alternativa para beneficiar la salud del consumidor y una opción diferente de consumo de fibra, práctica y fácil de transportar.

III. Justificación

La fibra tiene diversos orígenes, mayoritariamente de cereales integrales, legumbres, frutas y hortalizas, estas dos últimas fuentes consideradas ideales debido a que son equilibradas en cuanto a su proporción de fibra soluble e insoluble (Rodríguez & Simon, 2008). Sin embargo, recientemente, se han realizado estudios acerca del aprovechamiento de subproductos de frutas generados por la producción de alimentos, esto debido al contenido alto en fibra y los componentes bioactivos que los hacen un ingrediente funcional y bueno para el enriquecimiento en productos alimenticios. (Ktenioudaki & Gallagher, 2012).

En México, el consumo y producción de los productos de panificación ha ido en aumento, y se les ha considerado como una forma adecuada para aumentar la ingesta de fibra en la dieta (ProMéxico, 2010).

Fibras de fuentes de vegetales y frutas han sido usadas en la formulación de galletas con la finalidad de incrementar el contenido de fibra, mejorar textura y reducir el contenido energético. Subproductos de la producción de jugo y sidra de manzana debido a la composición química y propiedades fisicoquímicas han sido implementados en pasteles, pan y productos de cereales similares debido a los cambios aceptables en textura. (Uysal *et al.,* 2007). Chen *et al.,* (1988) muestran que la fibra de manzana a comparación del salvado de trigo y avena, presenta las mejores propiedades químicas, físicas y de panificación, adecuadas para la implementación en productos de panificación, como lo han mostrado las fibras de frutas en barras que producen una disminución del índice glucémico. (Cervantes, 2011).

Basados en investigaciones científicas acerca de la implementación de fibras provenientes de subproductos, este documento tiene el propósito de estudiar el efecto de la fibra de manzana proveniente del subproducto de sidra en las características panaderas y químicas en barras, así como la predicción del índice glucémico.

IV. Objetivo general

- Evaluar las características físicas, nutrimentales y sensoriales de una barra energética sustituida con fibra de manzana

V. Objetivos específicos

- Valorar la calidad panadera de barras energéticas con diferentes proporciones de fibra de manzana mediante pruebas instrumentales
- Evaluar las características sensoriales de las formulaciones de barras con las mejores características panaderas
- Establecer la formulación de la barra energética considerando la calidad panadera y las características sensoriales
- Realizar el análisis químico proximal y la determinación del índice glucémico a la barra con las mejores características panaderas

VI. Hipótesis

La sustitución de harina de trigo integral por fibra de manzana en la formulación de una barra energética, tendrá un efecto sobre la calidad panadera de esta, así como sus características sensoriales.

CAPITULO I: Generalidades

1.1 Fibra

La fibra dietaría ha sido ampliamente estudiada a lo largo del tiempo, Hipocrates observó el efecto laxante de las capas externas de los granos integrales (Spiller, 2001) y recomendaba consumir panes elaborados de harina no refinada, los hermanos J. H y W. K. Kellogg elaboraron alimentos a base de cereales integrales con la finalidad de beneficiar a la población, sin embargo McCance y Lawrence fueron los primeros investigadores quienes cuantificaron los carbohidratos no digeribles por enzimas digestivas del humano (Erdman *et al.,* 2012) Pero no fue hasta Burkitt, Trowell y Walter quienes constituyeron la base de los conocimientos acerca de la fibra. Posteriormente trabajos desarrollados entre 1969 a 1999 por Southgate, Van Soest y Wine, Van Soest y McQueen, los trabajos de Prosky, Englyst y Cummings, Johnson y Southgate, Deharveng fueron la base del estudio de la fibra, y algunas de las metodologías propuestas fueron adoptadas principalmente por la AOAC (1990). (Heredia *et al.,* 2002).

De la misma manera en la que se fueron desarrollando las diferentes metodologías para cuantificar y estudiar la fibra dietaría, también su definición fue modificándose. En el 2009 el Codex Alimentarius define a la fibra dietaría como:

Polímeros de carbohidratos con 10 o más unidades monoméricas, las cuales no son hidrolizadas por enzimas endógenas en el intestino delgado de humanos y pertenecen a las siguientes categorías:

- *Los polímeros de carbohidratos comestibles presentes naturalmente en el alimento;*
- *Los polímeros de carbohidratos los cuales han sido obtenidos de los alimentos por medios físicos, enzimáticos o químicos y los polímeros de carbohidratos sintéticos, los cuales han mostrado tener un efecto fisiológico benéfico para la salud, demostrado por evidencia científica generalmente aceptada por autoridades competentes.*

También incluye los derivados de origen vegetal, la fibra dietaría que puede incluir fracciones de lignina y otros componentes asociados con polisacáridos en la pared celular vegetal y que son cuantificados por el métodos analíticos gravimétricos de

la AOAC, como fracciones de lignina y otros componentes como proteínas, ceras, saponinas, fitatos, cutinas, fitoesteroles, componentes polifenólicos etc. (Codex, 2009)

1.1.1 Clasificación de la fibra

La fibra dietaría es un conjunto de sustancias con diferentes características, esta puede ser clasificada por su solubilidad y fermentabilidad, en donde las fibras solubles se caracterizan por ser viscosas y fermentables al contrario de las insolubles que son poco viscosas y poco fermentables (Bellido & De Luis Román, 2006). Ambas son degradadas por las bacterias intestinales, las fibras solubles son más fácil, rápidas y completamente fermentables a comparación de las insolubles, esto debido a la capacidad de retención agua de las fibras solubles que permite a las bacterias penetrar fácilmente la matriz y comenzar la degradación de esta, generalmente conforme hay un incremento en los niveles de fibra soluble también hay un aumento en la actividad microbiana. (Ulrike, 2007)

a) **Fibras solubles (fermentables y viscosas):**
   - La fibra soluble tiene la capacidad de formar un retículo en contacto con el agua donde queda atrapada, originando soluciones de alta viscosidad.
   - Tienen una elevada capacidad para retener agua.
   - Entre ellas están las pectinas, algunas hemicelulosas, las gomas, los mucilagos y los polisacáridos procedentes de algas.
   - Algunos alimentos ricos en fibra soluble son la avena, la cebada, algunas frutas y vegetales
   - Su capacidad gelificante es responsable de efectos fisiológicos como la diminución de la glucemia pospandrial o la regulación de los niveles plasmáticos de colesterol. (Falcón *et al.,* 2011; Rodríguez, 2008)

b) **Fibras insolubles (escasamente fermentables y no viscosas):**

- Se caracterizan por su escasa capacidad para formar soluciones viscosas.
- Pueden retener agua, aunque siempre en menor proporción que las fibras solubles.
- Entre ellas está la celulosa, diversas hemicelulosas y la lignina.
- La fibra insoluble se encuentran en cantidades mayores en el maíz y trigo
- Su baja capacidad de formar soluciones viscosas y de retener agua son motivo del aumento en la masa fecal, que es más blanda; aumenta la motilidad gastrointestinal y el peso de las heces. Son escasamente degradadas por lo que se excretan prácticamente íntegras por heces. Este tipo de fibra es la más adecuada en la prevención del estreñimiento**.** (Falcón *et al.,* 2011; Rodríguez, 2008)

La solubilidad y la facilidad de formación de geles depende de la composición de monosacáridos y el tipo de enlace glicosídico, los cuales son determinados por la estructura lineal o ramificada, en contraste el grado de polimerización se atribuye a la viscosidad, por ejemplo la celulosa entre menos cristalina menos ordenadas están las fibrillas provocando ser más susceptible a la hidrólisis enzimática. (Heredia *et al.,* 2002)

Cerca del 75% de la fibra dietética en los alimentos está presente en la forma de fibra insoluble. Sin embargo, la mayoría de las fuentes de fibra en la actualidad son mezclas de ambos tipos. (Córdoba, 2005) En la Tabla 1 se mencionan los principales componentes de la fibra dietetic

Tabla 1. Caracterización de componentes fibrosos basados en fermentabilidad

Característica	Fibra	Fuente principal
Parcial o poco fermentada	Celulosa	Plantas (remolacha azucarera, salvado, vegetales)
	Hemicelulosa	Granos de cereales
	Lignina	Plantas leñosas
	Almidón resistente	Maíz, papas, granos, plátanos, legumbres woody plants
Fermentadas	ß-gluconas	Granos (avena, centeno, cebada)
	Pectinas	Frutas, vegetales, legumbres, remolacha azucarera, papas
	Gomas	Semillas de plantas leguminosas (guar, algarrobo), extracto de algas marinas (carrageninas, alginatos), extractos de plantas (goma acacia, goma karaya, goma tragacanto)
	Inulina	Achicoria, alcachofa, trigo
	Oligosacaridos	Fructo-oligosacarisdos, galacto-oligosacaridos, lactulosa

Ulrike, 2007

1.1.2 Recomendaciones de fibra dietaría

Las recomendaciones de consumo dependen de la edad y el sexo de la persona, se sugiere que en adultos la ingesta oscile entre los 20 y 30 g/día, o bien, de 10 a 13 g por cada 1000Kcal, debiendo ser una relación de fibra insoluble/soluble de 3/1. Así mismo un consumo mayor a los 50g de fibra dietética no aporta beneficios adicionales por el contrario puede producir sensación de plenitud. (Falcón *et al.,* 2011; Hernández, 2010; Calvo *et al.,* 2012). En niños mayores a 2 años se recomienda el consumo de 5g/día a la edad del niño e ir incrementando gradualmente su consumo hasta alcanzar 25 a 35 g a partir de los 20 años de edad. Se recomienda el consumo de fibra que provienen de alimentos que lo contienen como: cereales, frutas, verduras y legumbres (Hernández, 2010).

1.1.3 Propiedades funcionales de la fibra y sus efectos fisiológicos

La fibra dietaría está constituida de polisacáridos con propiedades y características específicas, tales como la capacidad de retención, absorción, y adsorción de agua, capacidad de intercambio catiónico y la absorción de moléculas orgánicas. Estas propiedades funcionales tienen efectos fisiológicos en el humano y repercuten en las características de productos a los cuales es adicionada. (Zambrano *et al.,* 2001)

La fibra dietaría influye en gran medida en los procesos del sistema gastrointestinal, desde la ingestión, hasta la excreción, tomando un rol fundamental en el intestino delgado, y consecuentemente en la digestión de componentes como proteínas, lípidos y minerales. (Heredia *et al.,* 2002)

Las propiedades funcionales dependen de la cantidad de fibra soluble e insoluble, así como del tamaño de partícula, condición de extracción y la fuente vegetal. (Figuerola *et al.,* 2005) Pueden ver se afectadas por algunos tratamientos químicos, enzimáticos, mecánicos, térmicos y térmicos-mecánicos, por ejemplo la molienda afecta las propiedades de hidratación, en cuanto al calentamiento generalmente incrementa la cantidad de fibra soluble particularmente la obtenida de frutas y verduras, esto debido a la degradación de pectinas, arabinoxilanos, y ß-glucanos; por otro lado, el secado tiene una fuerte influencia sobre la porosidad y las propiedades de hidratación; la combinación de energía mecánica y térmica provoca un fuerte cambio en la estructura de la fibra y posiblemente puede conducir a nuevas propiedades funcionales. (Guillon & Champ, 2000)

A continuación se describen algunas propiedades funcionales y la contribución que tiene sobre el organismo en relación a sus:

1.1.3.1 Propiedades de hidratación

Las propiedades de hidratación son un factor importante para el destino de la fibra en el tracto digestivo y para algunos efectos fisiológicos, dependiendo de la afinidad al agua y la forma en que se encuentra físicamente es la función que

realice. A continuación se muestran las definiciones del comportamiento de la fibra frente al agua:

- Hinchamiento: el volumen ocupado por un peso conocido de fibra a condiciones definidas
- Capacidad de retención de agua: cantidad de agua retenida por un peso conocido de fibra por condiciones específicas. También conocido como capacidad de retención de agua o capacidad de enlazar moléculas de agua
- Capacidad de absorción de agua: cinética del agua en movimiento en condiciones específicas. (Guillon & Champ, 2000; Zambrano *et al.,* 2001)

Las fibras compuestas principalmente de la pared celular presentan valores altos de hidratación al contrario de las fibras de pared celular secundaria. El tamaño de partícula, pH y fuerza iónica, y procesos como la molienda, el secado, la extrusión o el calentamiento pueden influenciar en las propiedades de hidratación. (Guillon & Champ, 2000) (Zambrano *et al.,* 2001) Esta propiedad de la fibra presenta efectos fisiológicos importantes y estos se describen a continuación:

En el estomago provoca:

- Distensión, causando sensación de saciedad
- La formación de soluciones viscosas tiene como resultando la disminución en la velocidad del vaciamiento del contenido gástrico al duodeno, enlenteciendo la absorción de nutrientes, como lo hace con la glucosa a la cual impide su elevación en sangre.

En el intestino delgado:

- Aumenta el volumen del contenido en el mismo,
- Modifica la absorción y el sitio de absorción de los nutrientes, favoreciendo la segunda mitad del intestino
- La fibra insoluble aumenta la rapidez del contenido intestinal.

Y en el intestino grueso:

- Reducción del tiempo de transito y aumento en la cantidad de deposiciones.
- Efecto laxante. (Mataix & Gassull, 2015)

1.1.3.2 Intercambio de cationes

El intercambio iónico es la capacidad de la fibra de formar complejos insolubles con iones orgánicos, y es fuertemente influenciada por diversos factores como es la presencia de compuestos fenólicos, acido urónico y por el número de grupos carboxilos libres. (Guillon & Champ, 2000) La fibra tiene la capacidad de captar cationes debido al grupo funcional carboxilo del ácido urónico, de los grupos fenólicos o residuos sulfatos, y en menor grado algunos constituyentes de células vegetales como fitatos, silicatos y oxalatos. Zambrano *et al.,* 2001; Mataix & Gassull, 2015)

Se considera que esta propiedad puede producir un incremento en la excreción fecal de ciertos minerales y electrolitos. A pesar de ello no se ha llegado a relacionar la capacidad de intercambio catiónico y los minerales fisiológicamente unidos, por otra parte el proceso de fermentación en el colon, puede llegar a provocar la liberación de minerales que se encuentran unidos a la fibra. (Zambrano *et al.,* 2001; Mataix & Gassull, 2015)

Algunos tipos de fibra tienen la capacidad de absorber colesterol, agentes cancerígenos, compuestos tóxicos y ácidos biliares, este último es absorbido por la fibra dietaría incrementando su excreción a través de las heces fecales, provocando una disminución de la concentración sanguínea de colesterol. (Zambrano *et al.,* 2001) Fibras como pectinas y ligninas tienen la habilidad de absorber ácidos biliares, esto debido a interacciones hidrofobicas, las cuales resultan ser un mecanismo de absorción para la lignina, mientras que interacciones iónicas con Ca^{2+} o Al^{3+} son atribuidos a pectinas y otros polisacáridos ácidos, como los son psyllium, goma guar, pectina de alto metóxilo entre otros. (Shweizer & Edwards, 1992)

1.1.3.3 Absorción de aceite

Esta propiedad depende principalmente de la porosidad de la fibra más que su afinidad molecular, así mismo de sus propiedades de superficie, espesor, naturaleza hidrofobia y la densidad de las partículas, en donde partículas con mayor superficie teóricamente presentan una capacidad de absorción de oleo mayor. Las fibras son adicionadas a emulsiones para estabilizar sistemas, gracias a sus propiedades hidrofilicas, ya que actúan como espesantes, reducen la

velocidad de floculación y/o creaming, su mecanismo de acción es debido a que pueden formar una red tridimensional en donde se pueden atrapar gotas de aceite y consecuentemente inhibir el movimiento, prologando la estabilidad de la emulsión. (Kasapis *et al.,* 2009; Heredia *et al.,* 2002; Delcour *&* Potanen*,* 2013)

1.1.3.4 Adsorción de moléculas

El consumo de fibra alimentaria hace que descienda los niveles de colesterol sérico, principalmente al correspondiente a las lipoproteínas de baja densidad (LDL). Las fibras que producen un mayor efecto hipocolesterolémico son las solubles (pectinas, algunas hemicelulosas, gomas, mucilagos etc) al contrario de las fibras insolubles, esto posiblemente debido a la acción sobre los ácidos biliares, las fibras solubles impiden la reabsorción ileal, debido a la viscosidad luminal que generan o por la fijación a la propia fibra. También la fibra alimentaria puede disminuir la absorción de sales biliares y fosfolípidos (Mataix & Gassull, 2015) Además existen diversas hipótesis en las que mencionan que la fibra dietética tiene la propiedad de ligar compuestos como el 1,2-dimetilhidrazina, para después ser eliminado a través de las heces fecales. Otros componentes como el benzopiereno 2-amino antraceno que es un mutagénico, puede ser atrapado por el salvado de trigo disminuyendo estos compuestos del intestino. (Zambrano *et al.,* 2001)

1.1.4 Fibra de manzana

La fibra derivada de frutas y vegetales tiene una proporción alta de fibra soluble, en contraste, los cereales contienen un alto contenido de fibra insoluble, celulosa y hemicelulosa, sin embargo las frutas tienen un de fibra soluble e insoluble, una buena capacidad de retención de agua y aceite, fermentabilidad y bajo contenido calórico, adecuadas para un enriquecimiento de fibra dietaría. (Figuerola *et al.,* 2005; Sun- Waterhouse *et al.,* 2010; Teixeria *et al.,* 2015)

La manzana es una buena fuente de fibra, esta presenta las mejores cualidades a comparación de cualquier otra fuente de fibra dietaría, esto es debido a los componentes bioactivos asociados, como flavonoides, caratenoides y polifenoles. Los compuestos polifenólicos han mostrado efectos antiflamatorios,

anticancerigenos y la habilidad de prevenir enfermedades crónicas (Figuerola *et al.,* 2005; Sun- Waterhouse *et al.,* 2010)

En el 2013 la producción global de manzana alcanzo los 67.9 millones de toneladas (Rabetafika *et al.,* 2014), en México la producción en el 2014 fue de 716,864.85 toneladas, en donde Puebla el cuarto estado productor de manzana fue de 32,474.61 toneladas (SAGARPA/ SIAP). El 8% de la producción global es procesada generando un gran volumen de subproductos, principalmente de residuos del proceso de prensión de la manzana provenientes de las empresas manufactureras de jugo y sidra, posteriormente de empresas productoras de vino, destilados, bebidas espirituales así como de gelatina y mantequilla. (Rabetafika *et al.,* 2014)

Particularmente el subproducto de sidra y jugo representa el 20-35% del peso fresco de la manzana, este subproducto está compuesto por una mezcla de cascara, corazón, semilla, cáliz, tallo y pulpa, en donde el 95% es fibra, principalmente es fibra insoluble, el 43% celulosa y entre el 19.9-32.2 % de hemicelulosa, concentrándose compuestos polifenólicos en la semilla y la cascara. (Rocha *et al,* 2015; Rabetafika *et al.,* 2014) En la siguiente figura se resume los subproductos del procesamiento de la manzana.

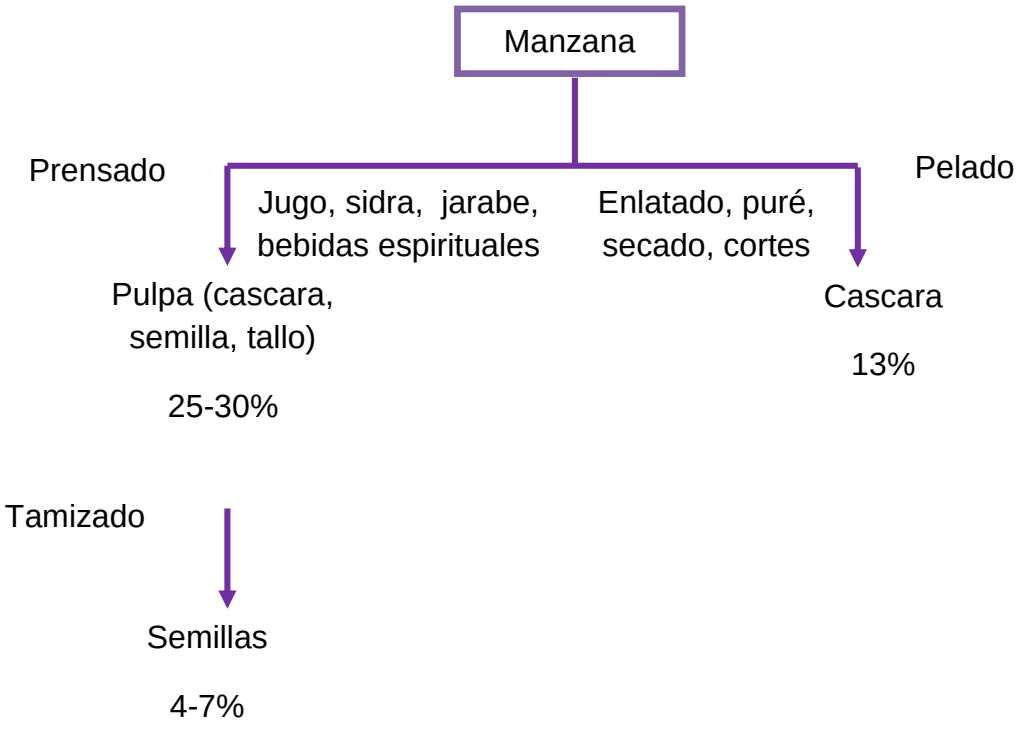

Figura 1. Subproductos del procesamiento de la manzana Rabetafika (2014)

La fibra de manzana a comparación de fuentes de fibra de naranja, limón y uva, presenta cantidades mayores de fibra dietaría total, así mismo la cantidad de fibra depende de la variedad de la manzana, mostrando tener un alto contenido de fibra dietaría la variedad liberty. Por otro lado, subproductos obtenidos del procesamiento de sidra de manzana a comparación de los obtenidos de la naranja, tienen un contenido equilibrado de fibra soluble e insoluble, adecuado para el enriquecimiento en alimentos, en la Tabla 2 se muestran los valores de fibra insoluble, soluble y total de concentrados de fibra de diferentes fuentes.

Tabla 2. Contenido de fibra insoluble, soluble y total de concentrados de fibra.

Concentrado de fibra		Fibra insoluble (%)	Fibra soluble (%)	Fibra dietaría toral (%)
***Uva**		37.8- 56	4.57-6.43	44.2-62.6
***Limón**		50.9-62	6.25-9.2	60.1-68.3
***Naranja**		54	10.28	64.3
***Manzana**	Royal Gala	63.9	14.33	78.2
	Granny Smith	56.5	4.14	60.7
	Liberty	81.6	8.2	89.8
****Subproducto del procesamiento de la manzana sidra**		36.5	6.6	42.5
*****Subproducto del procesamiento de naranja**		29.65	25.17	54.82
****Harina de trigo**		-	-	4.1

* Figuerola *et al.* (2005); ***Teixeria *et al.* (2014); **Ktenioudaki *et al.* (2013)

1.1.4. 1 Composición química de la fibra de manzana

Residuos de subproductos de frutas han sido de gran interés por diversos investigadores, debido a las propiedades funcionales, tecnológicas y fisiológicas. Larrauri (1999) menciona que las mejores características de una fibra es que contenga al menos el 50% de fibra dietaría total, una humedad inferior al 9%, y un bajo contenido de lípidos; también describe las siguientes características como la "fibra ideal ":

- No debe de tener componentes que sean nutricionalmente ofensivas
- Debe de estar altamente concentrada en una pequeña cantidad con el fin de maximizar el efecto fisiológico.
- Debe ser insulsa en sabor y olor, además de no presentar efectos negativos en textura y color.
- Debe de contener un balance en sus fracciones solubles e insolubles y tener una aceptable cantidad de componentes bioactivos
- Debe tener buena vida útil, sin afectar negativamente al alimento en el que fue adicionada.
- Ser compatible con el procesamiento del alimento
- Debe tener una buena imagen ante el consumidor
- Contener los efectos fisiológicos esperados
- Tener un razonable precio

La composición química de fibras de frutas: uva, naranja y limón, tienen un porcentaje alto de cenizas y proteínas a comparación del concentrado de manzana, y presenta valores intermedios en el contenido de lípidos. Los subproductos del procesamiento de manzana tienen valores por debajo de los reportados de subproductos de naranja y cerveza, siendo este adecuado para la implementación en alimentos debido a su bajo contenido calórico. En la Tabla 3 se muestra la composición química de concentrados de fibra.

Tabla 3. Composición química de concentrados de fibra

Concentrado de fibra	Cenizas (%)	Lípidos (%)	Proteínas (%)
***Uva**	3.22-3.27	1.04-3.24	4.46-8.42
***Limón**	3.47-3.91	1.88-1.89	6.79-7.92
***Naranja**	2.71	0.89	6.70
***Manzana**	0.56-1.88	1.57-4.46	3.12-3.68
****Subproducto del procesamiento de la manzana sidra**	1.7	2.7	2.4
*****Subproducto del procesamiento de naranja (jugo)**	1.6-2.97	2.27-4.21	2.37-4.89
****Subproducto de cerveza**	3.2	4.5	20.8

*Figuerola *et al.* (2005); **Ktenioudaki *et al.* (2013); ***Teixeria *et al.* (2014)

1.1.4.2 Propiedades funcionales de la fibra de manzana

La fibra dietaría puede impartir algunas propiedades funcionales a los alimentos, como un incremento en la capacidad de retención de agua y aceite, emulsificación y formación de gel; la incorporación en productos alimenticios puede modificar la textura, evitar la sinéresis, estabilizar alimentos altos en grasas y emulsiones, así como contribuir a la vida de anaquel del alimento. (Elleuch *et al.,* 2011)

En la Tabla 4 se muestran las propiedades funcionales de los subproductos de jugo y sidra de manzana. Los valores reportados en bibliografía de la capacidad de retención de agua, absorción e hinchamiento del subproducto de jugo; muestran ser altos en contraste a los de sidra, por otra parte los valores reportados en la capacidad de absorción de aceite para el subproducto de jugo; resultan ser bajos a comparación del reportado por el de la sidra. Esto indica que el subproducto de sidra a comparación del generado por el procesamiento de jugo

de manzana presenta las características adecuadas para su implementación en productos de panificación.

Tabla 4. Propiedades fisicoquímicas de subproductos de manzana

Propiedades fisicoquímicas	*Subproducto de sidra de manzana	**Subproducto de jugo de manzana
Capacidad de retención de agua (g/g)	6.34	12.25
Capacidad de absorción de agua (mL/g)	2.35	3.47
Capacidad de hinchamiento (mL/g)	7.59	12.8
Capacidad de absorción de aceite (g/g)	1.33	0.84

*Ktenioudaki *et al.* (2013); **O'Shea *et al*. (2015)

1.2 Índice glucémico

El índice glucémico (IG) ha sido históricamente, objeto de interés y estudio de un número importante de investigaciones en sujetos con diabetes. Pero no solo recientemente se ha convertido en área de interés para la población general. El IG clasifica a los alimentos en función de la magnitud y la duración de la elevación de la concentración de glucosa en sangre que provocan, es decir la respuesta glucemia. El alimento de referencia es la glucosa o el pan blanco, los alimentos que se digieren rápidamente y causan una elevación rápida de la concentración de glucosa en sangre y de insulina, tienen a un índice glucémico alto, como son los alimentos con almidones refinados como el pan blanco y los alimentos altamente procesados. Los alimentos cuya digestión requiere más tiempo y causan un aumento más lento de la glucosa en sangre, estimulando menos la liberación de insulina, tienen un IG bajo, como son los vegetales bajos en almidón, frutas no tropicales y granos no procesados. (Baechle & Earle, 2007; Torkos, 2013)

El índice glucémico se define como el área del incremento bajo la curva de respuesta glucemia de una porción de 50 g de carbohidratos de un alimento de ensayo, expresada en porcentaje de respuesta a la misma cantidad de carbohidratos de un alimento estándar ingerido por el mismo sujeto. (FAO, 1999)

1.2.1 Índice glucémico y relación con fibra

Alimentos diferentes varían en el efecto sobre la regulación de la glucosa sanguínea. Los ricos en carbohidratos simples o en almidón, pero bajos en grasa o en fibra, tienden a digerirse y absorberse rápidamente, lo que ocasiona un incremento considerable y rápido de la glucosa. El organismo reacciona estimulando una cantidad extra de insulina, la cual reduce los niveles de glucemia un poco antes de estabilizarlos finalmente. Otros alimentos, en especial los ricos en fibra, en almidones resistentes o en grasa producen una menor respuesta de la glucosa con pequeñas oscilaciones. (Velásquez, 2006)

El mecanismo de acción de la fibra soluble consiste en unirse a los nutrientes desacelerando su velocidad de absorción y prolongando el tiempo de transito gástrico e intestinal, así como el efecto metabólico sobre la disminución de la glucemia postprandial y los niveles de lípido. (Casanueva y Vázquez, 1995)

1.3 Fibra en productos de panificación

La determinación de las propiedades fisicoquímicas de la fibra es de gran utilidad, ya que durante el procesamiento se pueden producir modificaciones importantes que deben ser tomadas en función del producto y propiedades sobre las que se pretende comercializar. (Chen *et al.,*1988; Dreher,1987)

Existen diversos estudios acerca de los efectos de la adición de fibra a productos de panadería. Algunos estudios han usado fibras con gomas para elaborar productos libre de gluten para aumentar el volumen y mejorar la miga, que son los principales problemas al no poder emplear harina de trigo. (Saura & Jiménez, 2001).

En un análisis de perfil de textura de masas de harina de trigo (H) fortificadas con fibra (F) soluble y celulosa realizado por Años *et al.* (s.f), se evaluó la dureza de

masas fortificadas en un porcentaje de (% F: H) 10, 15 y 20. Los resultados obtenidos en las masas fortificadas con fibra soluble, no presentaban diferencias significativas en comparación del testigo, al contrario de las fortificadas con celulosa, que al ir aumentando la concentración de esta en la formulación, había un incremento en dureza, esto es debido a que la celulosa a su estructura fibrosa que permite retener más agua.

En otro estudio reportado por Valdivia y Navarro (2010), se sustituyo harina de trigo (H) por fibra de cascara de piña (P) en la formulación de barras energéticas, con el fin de observar y valorar el efecto que tiene sobre el índice glucémico y la textura del producto. Las proporciones en peso de sustitución fueron en (H: F) 50:50, 25:75, y 0:100, donde estas a comparación del testigo tuvieron un índice glucémico bajo, aunque la formulación con mayor aceptación fue la de 50:50. Otros autores expresan que para llevar a cabo la formulación del pan, se recomienda sustituir hasta un 20% de la harina común por la fibra a utilizar en el producto, para el caso de las galletas se recomienda no adicionar más del 30% de fibra dietética. Se ha reportado que haciendo esta sustitución es suficiente para obtener un producto bajo en calorías y de calidad aceptable (Vergara, 2005).

1.4 Barras

Las barras son suplementos dietéticos que aportan nutrientes básicos; principalmente contienen hidratos de carbono aunque algunas están adicionadas con otros nutrientes. Inicialmente fueron diseñadas para deportistas, pensando en su desgaste físico y la necesidad de reponer de forma rápida y fácil todos los elementos perdidos. Son un producto altamente comercializado, por ello la introducción de nuevos sabores, tamaños y propiedades ha abierto una enorme puerta, permitiendo así ganar aceptación cada día más. Se clasifican en:

a) Energéticas. Se utilizan habitualmente para dar un aporte extra de energía, su ingrediente principal son los hidratos de carbono, que pueden estar en forma de glucosa o fructosa. Pueden contener elementos como vitaminas del complejo B y C, minerales como el hierro, y componentes para proporcionar al cuerpo las condiciones necesarias para absorber nutrientes más fácil y rápidamente como fibra.

b) Sustitutivas de comidas. Son esencialmente barritas dietéticas, contienen una cantidad muy baja de calorías y más hidratos de carbono que proteínas. Están destinadas para reemplazar una comida para gente que esté bajo un régimen alimenticio, pero algunas de ellas también pueden ser usadas antes o después de un duro entrenamiento deportivo para recuperar niveles óptimos de energía.
c) Proteicas. En su composición se encuentran altos niveles de proteínas; por lo tanto se deduce que están orientadas para formar masa muscular y perder grasa mientras se hace alguna actividad física. (Cervantes, 2011)

1.4.1 Función de ingredientes en panificación

1.4.1.1 Harina

La harina se refiere al polvo obtenido después de moler granos de cereales, la harina de trigo es la más usada y le confiere estructura a los productos de panificación, todas las harinas contienen almidón y proteínas pero la harina de trigo contiene un alto contenido proteico entre 10 y 12%, cuando estas son mezcladas con agua forman el complejo gluten, formando una masa elástica, cohesiva y espesa, la cual es capaz de retener gas durante la fermentación.

La harina de trigo integral contiene los nutrientes del germen y salvado así como del endospermo del trigo, las partículas de salvado rompen el gluten durante el mezclado y amasado en la formación de la masa, resultando un pan compacto.

1.4.1.2 Grasa

La grasa en las diferentes formas en la que es adicionada, sea como un líquido, en forma de manteca, margarina, mantequilla, tiene la función de mantener la humedad y mejorar los sabores de otros ingredientes, además de debilitar la red formada por el gluten provocando un producto más suave. Durante el batido y mezclado, pequeñas gotas de grasa atrapan aire formando una ligera y aireada estructura.

1.4.1.3 Edulcorantes

La azúcar además de contribuir al sabor de los productos de panificación, también ayuda al oscurecimiento y humedad de los productos de panificación. Reducir la cantidad de azúcar alrededor de un 1/3 puede causar perdida de dulzor, humedad y oscurecimiento, y puede incrementar el volumen del pan.

1.4.1.4 Huevos

Los huevos dan sabor y color, contribuyen a la estructura, incorporan grasa, proteínas y aire cuando estos son batidos. Las proteínas como la albumina y lecitina recubren el exterior de las burbujas creadas por el batido evitando el colapso de estas durante la cocción. La omisión de las claras puede resultar en una disminución del volumen

1.4.1.5 Líquidos

Agua: hidrata las proteínas, el almidón y agentes de fermentación, además contribuye a la humedad necesaria para la textura y cuando se evapora durante la cocción, el vapor expande las celdas de aire aumentando el volumen final del producto.

Leche: Ayuda al oscurecimiento, da sabor y mejora la calidad de la masa y volumen, además de aportar agua y nutrientes importantes a productos horneados. (Lauterbach & Albrecht, 1994; Vega 2009)

Capítulo II: Metodología

2.1 Diagrama general

Para estudiar el efecto de la adición de fibra de manzana sobre las barras, se realizaron los análisis que se muestran en el siguiente diagrama.

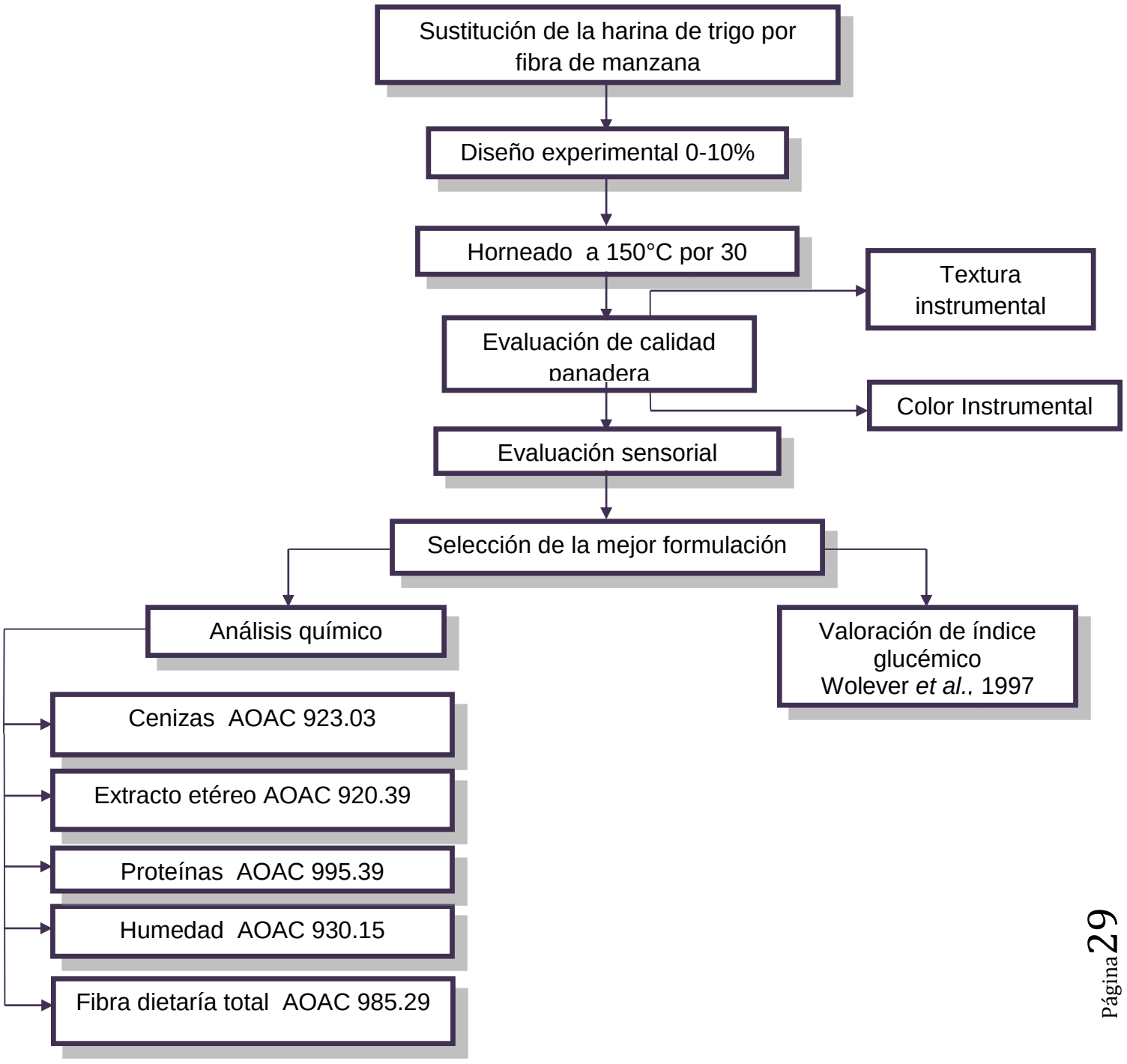

Figura 2. Diagrama general de bloques

2.2 Obtención de la fibra de manzana

La fibra de manzana fue obtenida del subproducto de la industria sidrera Soamy ubicada en Huejotzingo, Estado de Puebla. Los residuos fueron lavados y desinfectados con una solución de agua clorada a una concentración de 1ppm. Posteriormente fue escaldado a una temperatura de 60°C por 5 min y secado en un horno digital LUMISTELL modelo HTP-72 a una temperatura de 60-70°C. La materia seca fue triturada en un molino KRUPS GX 4100 por un periodo de 15 a 30 min, después fue pasado por un tamiz Tyler malla 80 equivalente a un tamaño de partícula de 177 µ. La composición química y propiedades fisicoquímicas del polvo obtenido se muestran en las siguientes tablas:

Tabla 5. Composición química de la fibra de manzana

Composición	Porcentaje en base húmeda (%)
Cenizas	1.52
Proteínas	5.18
Extracto etéreo	7.76
Humedad	7.55
Hidratos de carbon	50.53
Fibra cruda	27.45

Tabla 6. Propiedades funcionales de la fibra de manzana

Parámetros	Valores
Capacidad de hinchamiento CH (mL/g)	4.228
Capacidad de absorción de agua (g H_2O/ g)	4.261
Capacidad de absorción de moléculas orgánicas (g aceite/ g)	1.457
Capacidad de intercambio catiónico CIC (meq de H^+)	0.7

2.3 Formulación de barras energéticas

La elaboración de las barras consistió en un mezclando vigoroso de azúcar, manteca y mantequilla, hasta obtener una pasta sin grumos y de un color claro a la mezcla inicial. Previamente se mezclaron y cernieron los ingredientes secos: harina de trigo (H), harina integral de trigo (Hi), y polvo para hornear. Posteriormente se homogenizaron los ingredientes secos y la pasta anteriormente descrita, simultáneamente se adiciono huevo, leche y por ultimo agua, amasando en una batidora Kitchenaid ® Classic Stand Mixer 5K45SS a velocidad 2 por 12 minutos, tiempo suficiente para la formación de una masa tenaz. Se cortaron las barras (8.0x3.0x0.5 cm) y hornearon a 150°C por 30 minutos. Por último se dejaron enfriar en un cuarto a temperatura ambiente, se envolvieron en plástico adherente y se guardaron en un contenedor de plástico para su posterior análisis. Este mismo procedimiento se realizo para las barras adicionadas con fibra de manzana, el porcentaje de sustitución fue de (%Hi: %F) 30:0, 27.5:2.5, 25:5, 22.5:7.5, 20:10. Los ingredientes y cantidades empleadas se presentan en la Tabla 7.

Tabla 7. Ingredientes y cantidades para formulación de barras energéticas.

Ingredientes	Porcentaje (%)
Harina de trigo	37.2
Harina de trigo integral	16
Azúcar	17.1
Huevo	13.5
Leche	3.2
Manteca vegetal	5.4
Mantequilla	7.3
Polvo para hornear	0.3

2.4 Diseño experimental

El diseño experimental que se llevo a cabo para comprobar los efectos de la sustitución de harina de trigo integral por fibra de manzana sobre la calidad panadera y las características sensoriales de la barra; se presenta en la Tabla 8; en ella se muestra la variable independiente que es el porcentaje de sustitución de fibra de manzana y las variables dependientes que son los parámetros textura y color (*L, *a y *b).

Previo al diseño experimental mostrado en la Tabla 8, se realizaron una serie de sustituciones en la formulación de la barra control, con la finalidad de encontrar la combinación adecuada de harinas, que fuera similar a la dureza de una barra comercial. El porcentaje de sustitución de las harinas para la barra control consistieron en un 50%y 50%, 70% y 30%, 80 y 10% de harina de trigo y harina de trigo integral respectivamente. A las cuales se les realizó un análisis de textura instrumental que implicó la medición de los parámetros dureza y fracturabilidad, de ello resultó que una sustitución del 70 y 30 % es la sustitución adecuada para la implementación de la fibra de manzana.

Tabla 8. Diseño experimental para la elaboración de barras energéticas

Variables independientes			Variables dependientes
Tratamientos	**% de sustitución**		
	Harina de trigo integral	**Fibra**	
Control	30	0	Textura Color
T1	27.5	2.5	
T2	25	5	
T3	22.5	7.5	
T4	20	10	

2.5 Análisis de perfil de textura

El seguimiento que se hizo para la medición de dureza y fracturabilidad, fue por medio del TA.XT-Plus® empleando la aguja no. 3. Para el control y cada tratamiento se realizaron triplicados, cada uno con tres penetraciones, los valores obtenidos de las tres penetraciones fueron promediados y analizados mediante el software Minitab 16 (Minitab Inc., Pennsylvania, EUA).

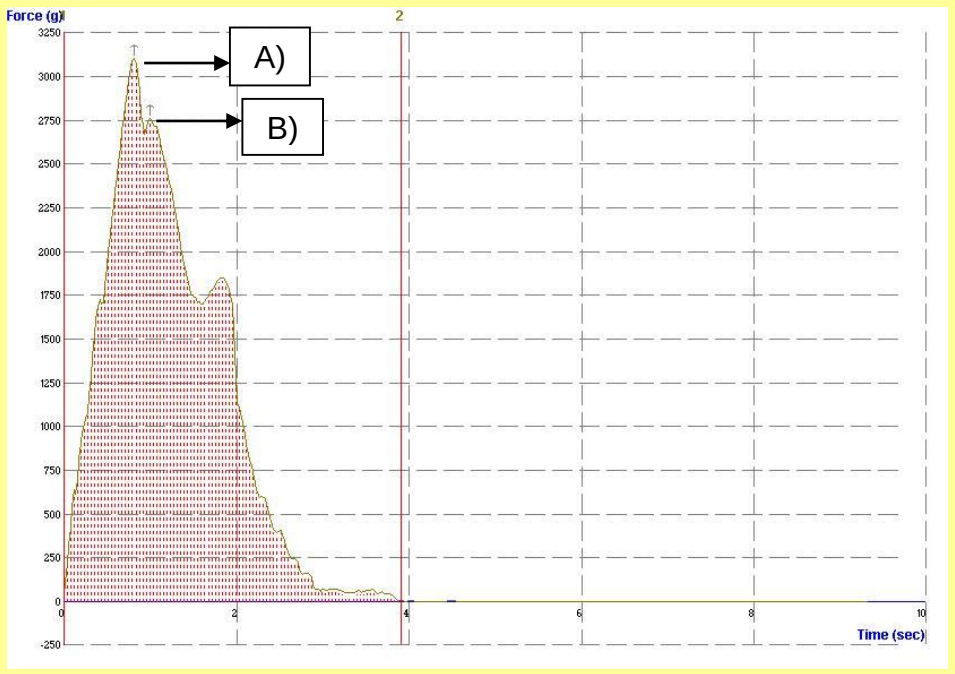

Figura 3. Parámetros del análisis de perfil de textura instrumental A) Dureza, B) Fracturabilidad

2.6 Evaluación de color

Se evaluó por triplicado los parámetros CIE (*L, *a y *b) para el control y los tratamientos, para ello se hizo uso del colorímetro triestímulo Colorflex ® EZ (45, Hunterlab, EE. UU) con un diseño de 45°/ 0° que basa su funcionamiento en el

iluminante D65 (Specifications Colorflex, 2014), observante 2°. Previo al análisis se calibró con los estándares negro y blanco.

La escala de color será dada por CIE son:

- L* es luminosidad donde 0 es negro y 100 es blanco
- a* donde los valores positivos son rojos, los negativos son verdes y 0 es el neutro
- b* donde los valores positivos son amarillos, los negativos son azules, y el 0 es el neutro (Hunterlab, 2012)

La diferencia total de color fue determinada con la ecuación:

$$\boldsymbol{Diferencia\ de\ color\ total}\ (\Delta E) = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \qquad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

- $\Delta L = (L_{muestra} - L_{estándar})$
- $\Delta a = (a_{muestra} - a_{estándar})$
- $\Delta b = (b_{muestra} - b_{estándar})$

2.7 Evaluación sensorial

La evaluación sensorial fue realizada por 50 jueces no entrenados, quienes indicaron el nivel de agrado y desagrado a través de un test hedónico no estructurado. El test fue aplicado en un laboratorio libre de cualquier variable que pudiera afectar la evaluación, así mismo los panelistas fueron instruidos para la evaluación de las muestras previamente codificadas, esto con el fin de evitar algún sesgo en los resultados.

2.8 Análisis químico proximal

2.8.1 Determinación de humedad (Método de estufa de aire)

Se determino la humedad mediante el método de estufa de aire propuesta por la A.O.A.C 1990 técnica 930, en donde las muestras fueron pesadas en una balanza analítica (ADAM, HCB 123) para su posterior secado en una estufa (RIOSSA modelo E51) a 105°C hasta masa constante.

2.8.2 Determinación de cenizas totales. (Método Gravimétrico)

Para la determinación de cenizas totales, se hizo uso del método descrito por la AOAC 1990 técnica 923; inicialmente se pesaron las muestras, para su posterior calcinado en una mufla (TERLAB modelo F480) a 550°C y por último se determino el peso final de los residuos después de la calcinación.

2.8.3 Determinación de extracto etéreo (Método Soxhlet)

Para cuantificar el % de extracto etéreo se siguió el método propuesto por la A.O.A.C 1990 técnica 920, para ello las muestras fueron previamente homogeneizadas y desecadas, las cuales fueron sometieron a una extracción con éter de petróleo, para después determinar el % de extracto etéreo mediante diferencia de pesos.

2.8.4 Determinación de proteínas (Método Kjeldahl)

Para él % de proteínas de las muestras se aplicó el método micro-Kjeldahl descrito por la A.O.A.C 1983 técnica 995, empleando el equipo micro Kjeldahl (LABCONCO modelo 2308000) en el cual se realizó la destrucción de la materia orgánica con ácido sulfúrico concentrado en la presencia de catalizador a una temperatura aproximada a 370°C, para después ser destilada y titulada, con el fin

de cuantificar el nitrógeno en la muestra, posteriormente se realizo el cálculo empleando el factor 6.25 y obtener el % de proteína.

2.8.5 Determinación de fibra dietaría total (TDF)

El contenido de fibra dietaría total de las muestras fue determinado por el método AOAC 1996 técnica 985. Las muestras (1.00 g± 0.020mg) fueron homogenizadas en un solución de regulador de fosfatos (50mL a pH 6) y α-amilasa termoestable (0.1mL). Posteriormente fue incubada (Incubadora SIGMA A 3306) (15min a 95°C) y enfriada a temperatura ambiente, se ajusto el pH (7.5± 0.2) y se adiciono proteasa (0.1mL de una solución de 50mg/mL) incubando nuevamente en agitación continua (30 min a 60°C). Se dejo enfriar a temperatura ambiente y a continuación se ajusto el ph (4.5 ± 0.2) y adiciono e incubo con amiloglucosidasa (0.1mL, 30 min a 60°C) con agitación continua.

Después se adiciono y dejo reposar con etanol (280mL al 96%) por una noche a temperatura ambiente. La solución fue filtrada y lavada con etanol a diferentes concentraciones y acetona (60mL al 78%, 40mL a 95% y 40mL respectivamente). El residuo fue secado y pesado para su posterior determinación de proteína y cenizas. La fibra dietética total es el peso de los residuos, menos el peso de la proteína y cenizas.

2.9 Determinación del índice glucémico

La curva de liberación de glucosa fue realizada mediante el método de Wolever y *et al.,* (1997). Para este método se utilizaron membranas con una relación de 12000 Da, con una longitud de 10cm, previamente hidratadas 24 horas antes de la prueba. Por otro lado se preparo una solución de glucosa a 40mmol/L; de la cual se tomaron 20mL para hidratar 0.2g de muestra, media hora antes de la determinación.

La membrana hidratada fue amarrada por un extremo, posteriormente se lleno con la muestra previamente hidratada. Esto fue introducido en un matraz con agua a 37°C y se tomo 2.5mL de dializado, siendo esta la primera muestra a tiempo cero (t=0). El matraz fue colocado en una incubadora a 37°C con agitación de 90rpm, y a continuación se recolectaron muestras de la solución cada 15 minutos.

Las muestras obtenidas fueron analizadas con glucosa oxidasa del Kit SERAPAK PLUS de Bayer y se midió la absorbancia en un espectrofotómetro Lightware marca WPA a una longitud de onda de 500nm. Las lecturas obtenidas fueron graficadas en Excel 2007 para después calcular el área bajo la curva y obtener el IG de las muestras.

Capítulo III: Resultados

3.1 Elaboración de barras

La masa es un sistema coloidal complejo formado de fases dispersas, y cuando las características reológicas son alteradas, el procesamiento de la masa y la calidad del producto final pueden ver se afectadas. (Boatella *et al.,* 2004; Ktenioudaki *et al.,* 2013).

La obtención de las barras consistió en un proceso de pesado, mezclado, amasado, moldeado y horneado. Se realizo un lote de 16 barras equivalente a 400g de harinas (trigo e integral) con dimensiones de 8.0x3.0x0.5 cm.

Durante la elaboración de las barras, se observo que las masas con fibra de manzana, formaban masas cohesivas en menor tiempo, además de ser poco elásticas, y no presentar resistencia al corte, es decir mantenían su estructura durante el moldeado y horneado, al contrario del control que formaba una masa cohesiva en mayor tiempo, además de una mayor resistencia al corte y una estructura poco moldeable.

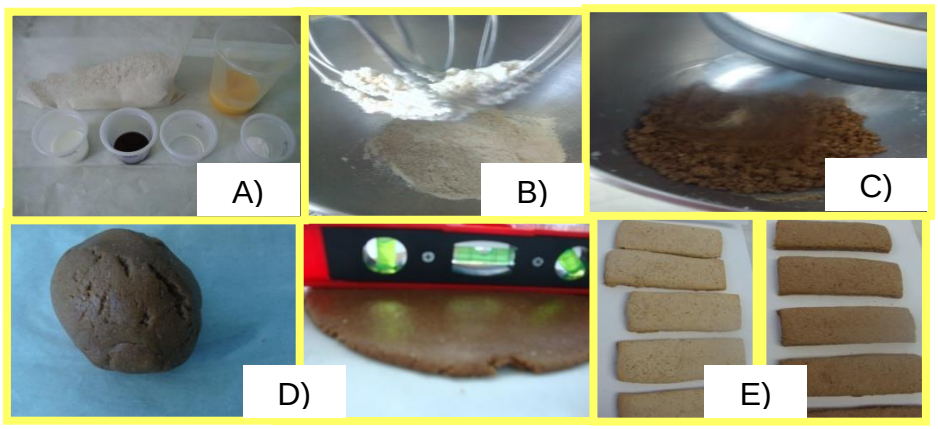

Figura 4. Elaboración de barras: A) Pesado de ingredientes, B) Mezclado, C) Amasado, D) Moldeado y E) Horneado

La fibra de manzana incrementa la resistencia a la deformación, decrece la extensibilidad y aumenta la rigidez (Sudha *et al.*, 2007; Sullivan *et al*., 2010). El efecto de la fibra de manzana en la elaboración de barras, mejoro las características de la masa, haciéndola fácil de manipular y requiriendo de un menor tiempo de moldeado.

3.2 Textura

Comúnmente el efecto de la fibra sobre las características finales de productos de panificación; es una reducción en el volumen, una estructura menos aireada, genera fuerza y migas oscuras. Estos efectos dependen del tipo y componentes de la fibra, así como el nivel de sustitución y tamaño de partícula. (Ktenioudaki *et al*., 2013) La fibra de manzana generalmente produce una reducción en la relación de propagación y crujibilidad, así como un incremento en la dureza. (Uysal *et al*., 2007).

El análisis de los parámetros dureza y fracturabilidad se realizaron por triplicados a la muestra control y tratamientos, las cuales fueron analizadas por medio del TA.XT-Plus® empleando la aguja no. 3, cada una con tres penetraciones.

3.2.1 Dureza

El parámetro dureza, es definido físicamente como la fuerza necesaria para una deformación dada, y sensorialmente como la fuerza requerida para comprimir un alimento entre los molares. (Rosenthal, 2001)

Tabla 9. Dureza (Kg-f) de la barra control y tratamientos

Tratamientos				
Control	**T1**	**T2**	**T3**	**T4**
3.4065±0.19	3.5947±0.50	2.6541±0.22	3.0889±0.15	3.6121±0.15

En el Anexo1, Figura 1.1 se muestra el ANOVA obtenido para el parámetro firmeza. El tratamiento que no comparte una letra en común es significativamente diferente (Valor P< 0.05)

En la Tabla 9 se presentan los resultados obtenidos del parámetro dureza de la barra control y los tratamientos, en donde el tratamiento 2 muestra tener una dureza menor a comparación de los tratamientos 1, 3 y 4, estos últimos junto con el control tienen valores similares.

El análisis de varianza (Anexo1, Figura 1.1) muestra que la sustitución de harina de trigo integral por fibra de manzana tiene un efecto significativo sobre la dureza de la barra energética ($p<0.05$). Por otro lado, la comparación de medias de tratamientos Tukey ($p<0.05$), demuestra que no existen diferencias significativas entre las formulaciones y el control (Anexo 1, Figura 1.2), sin embargo existe una diferencia entre los tratamientos 1 y 2, así como el tratamiento 2 y 4. Esto quiere decir que la dureza en las barras sustituidas con fibra de manzana es similar a la barra control, sin embargo este parámetro fue afectado significativamente entre las barras sustituidas con fibra de manzana en un 2.5, 5 y 10%.

3.2.2 Fracturabilidad

La fracturabilidad es definida como la primera caída significante de la curva en el primer ciclo de compresión producto de un alto grado de dureza y bajo grado de cohesividad. Se refiere a la dureza con la cual el alimento se desmorona, cruje o revienta.

Tabla 10. Fracturabilidad en barra control y tratamientos

Tratamientos				
Control (Kg-F)	**T 1 (Kg-F)**	**T 2 (Kg-F)**	**T 3 (Kg-F)**	**T 4 (Kg-F)**
3.1756±0.55	2.9646±0.47	2.8131±0.40	2.1691±0.08	3.3713±0.38

El ANOVA del parámetro de compresión se muestra en el Anexo1, Figura 1.3.

La Tabla 10 presenta los valores de fracturabilidad de la muestra control y tratamientos, los resultados obtenidos para los tratamientos 2 y 3 son menores a comparación del control y los tratamientos 1 y 4. Estos resultados fueron analizados mediante un ANOVA (Anexo 1, Figura 1.3) en donde el valor $P>0.05$,

es decir no existen diferencias significativas entre los tratamientos y la barra control, dicho en otras palabras, la sustitución de harina de trigo integral por fibra de manzana no presento un efecto significativo sobre el parámetro fracturabilidad.

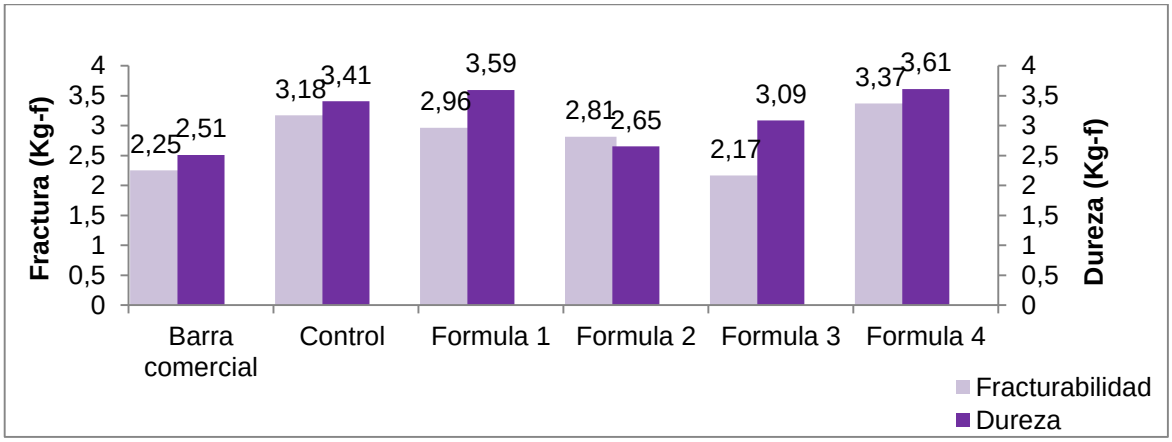

Figura 5. Fractura y dureza en las muestras control, tratamientos y barra comercial.

En la Figura 5 se observa la comparación de los parámetros fracturabilidad y dureza, entre una barra comercial, el control y los tratamientos; para los parámetros de textura analizados, el control y los tratamientos 1 y 4 se encuentran por encima de la barra comercial, al contrario de los tratamientos 2 y 3 que se aproximan a los valores de la barra comercial.

La adición de fibra en productos de panificación, modifica la dureza y provoca una dilución del gluten (Collar *et al.*, 2007; Chen *et al.* , 1988), las fibras son capaces de atrapar agua entre su estructura formando un gel (fibra soluble), en la manera de una esponja (fibra insoluble), o bien por la formación de matrices hidrofilicas (Sungsoo & Dreher, 2001), a mayor número de grupos hidroxilo en la estructura, habrá una mayor interacción con los enlaces de hidrogeno del agua (Ktenioudaki & Gallagher, 2012); reduciendo la disponibilidad de agua para la formación del complejo gluten, responsable de formar masas elásticas y cohesivas, además de ser capaz de retener gas formando productos esponjosos y livianos (Villanueva, 2014). Shabir *et al* (2014) indica que la capacidad de retención de agua de la fibra, afecta la capacidad de hinchamiento del almidón y por lo tanto reduce la ruptura del granulo. El almidón contribuye a la formación y flexibilidad de las celdillas de gas, además de favorecer las fuertes uniones del gluten en la masa y

previene el colapso del producto de panificación durante el enfriamiento (Bernabé, 2009). Sudha *et al* (2007) reporta un incremento en la absorción de agua en mezcla para pastel sustituida con fibra de pulpa de manzana.

Efectos similares a los resultados obtenidos en los tratamientos fueron observados por Uysal *et al.* (2007) la adición fibra de manzana, limón, trigo y trigo integral en galletas; la dureza de las muestras adicionadas con fibra de manzana en un 15% y 20% a comparación del control no presentaron diferencias significativas en contraste con las galletas adicionadas con las demás fibras analizadas; sin embargo entre las muestras adicionadas con fibra de manzana en un 15%, 20% y 30% si tuvieron diferencias significativas. Waterhouse *et al. (*2010) muestra un comportamiento similar al obtenido en el análisis de textura de los tratamientos, el reporta que barras snack de fibra de manzana e inulina adicionadas con extracto de polifenoles no presentan diferencias significativas entre el control y las barras con fibra de manzana y extracto de polifenoles.

Los resultados obtenidos muestran que la adición de fibra de manzana presenta ser una buena opción para el enriquecimiento en barras, debido a que no tiene un efecto negativo en la dureza y fracturabilidad, es decir presenta características similares al control y no muy alejados a los de una barra comercial, además la fibra de manzana es una buena fuente de fibra dietaría, además de ser una alternativa como un alimento funcional.

3.3 Evaluación de color

La aceptación de productos con un alto contenido en fibra depende de la apariencia, Water-House *et al.* (2010), Ktenioudaki & Gallagher (2012), reportan que agregar fibra en productos de panificación; tendrá un efecto considerable sobre el color.

Tabla 11. Efecto de la fibra de manzana sobre los parámetros L*, a* y b*

	L*	a*	b*
Control 1	54.30 $^{a}\sigma$ 1.86	4.9 $^{a}\sigma$ 1.61	23.19 $^{a}\sigma$ 0.88
T1	46.32$^{b}\sigma$1.08	6.08 $^{a,b}\sigma$ 1.12	21.05 $^{b}\sigma$ 0.70
T 2	42.99 $^{c}\sigma$ 0.66	6.96 $^{a,b}\sigma$ 0.05	19.25 $^{c}\sigma$ 0.01
T3	40.80 $^{c}\sigma$ 0.77	7.75 $^{b}\sigma$ 0.24	19.41 $^{c}\sigma$ 0.30
T4	41.31 $^{c}\sigma$ 0.95	7.36 $^{b}\sigma$ 0.21	19.29 $^{c}\sigma$ 0.20

En el Anexo2 Figura 2.1, 2.2 y 2.3 se muestra el ANOVA obtenido para el parámetro L*, a* y b* (respectivamente). El tratamiento que no comparte una letra en común es significativamente diferente (Valor P< 0.05)

Para evaluar color, se midieron por triplicado los parámetros L*, a* y b* por medio del Colorflex ® EZ . En la tabla 11 se observa que los valores de * L para el control, se aproximan al blanco, al contrario de los tratamientos, que se aproximan al color negro, sugiriendo que la sustitución de fibra de manzana en las barras, afecta significativamente al parámetro L* $p<0.05$ (Anexo 2, Figura 2.1), y en la comparación de medias Tuckey $p<0.05$ (Anexo 2, Figura 2.2), se encuentran diferencias entre el control- tratamientos.

Por otro lado, los resultados para el parámetro a*; al ser positivos indican lo rojizo de las muestras, mostrando un efecto significativo ($p<0.05$) entre los tratamientos 3, 4 y el control (Anexo 2, Figura 2.3 y Figura 2.4), los valores bajos de a* son para el control e incrementan conforme aumenta la adición de fibra de manzana. Los valores de b* fueron positivos y disminuyen al aumentar el nivel de sustitución, mostrando la amarillez de las muestras sobre el control- tratamientos $p<0.05$ (Anexo 2, Figura 2.5 y Figura 2.6).

Tabla 12. Deltas L*, a* , b* y diferencia de color de los tratamientos

Formulas	ΔL*	Δa*	Δb*	ΔE
T 1	-7.99σ1.09	1.18σ1.12	-2.14σ0.71	8.41 ^{a}σ1.21
T 2	-11.31σ0.66	2.06σ0.05	-3.94σ0.01	12.15^{b} σ0.63
T3	-13.50σ0.78	2.85σ0.24	-3.78σ0.30	14.31^{b} σ0.77
T4	-13.00σ0.95	2.47σ0.21	-3.90σ0.20	13.79 ^{b} σ0.93

En el Anexo 2, Figura 2.4, se muestra el ANOVA obtenido para ΔE. El tratamiento que no comparte una letra en común es significativamente diferente (Valor P<0.05)

En la Tabla 12 se reportan los delta L*, a* y b*, resultantes de una comparación de las formulaciones y el control; donde los ΔL* y Δb* son negativos, esto significa que las muestras son más oscuras y amarillas respectivamente, a comparación del control; sin embargo los Δa* son positivos, es decir, las muestras son mas rojas a comparación del control. Por otro lado, los valores de delta E listados en la Tabla 12, son la diferencia total de color (p<0.05) entre el control y cada tratamiento, encontrándose diferencias entre el T1 y los tratamientos 2, 3 y 4 (Anexo 2, Figura 2.7 y 2.8)

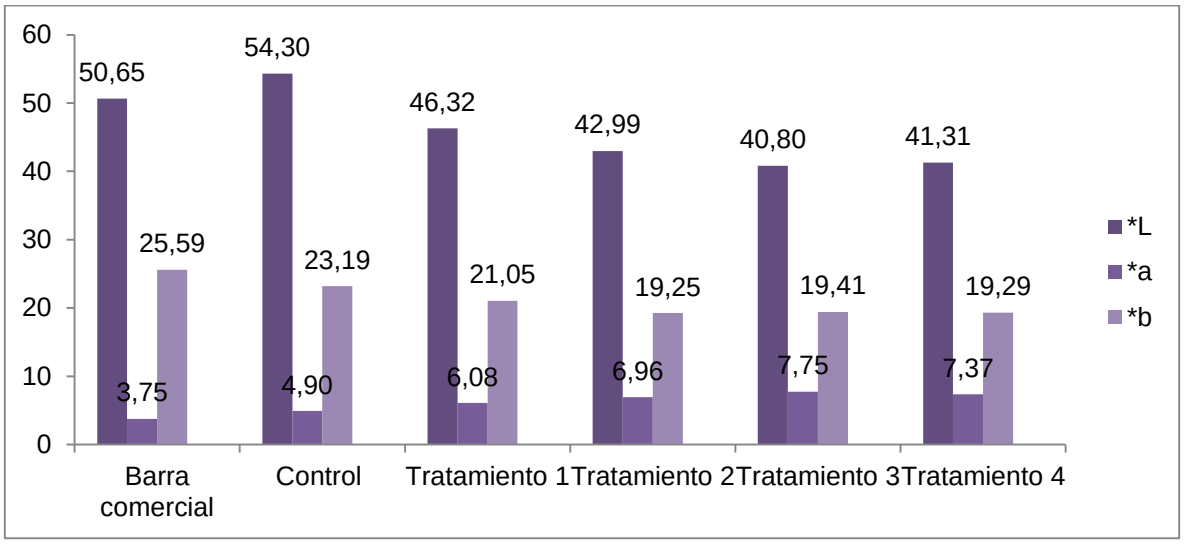

Figura 6. Comparación de *L, *a y *b entre una barra comercial y muestras.

En la figura 6 se muestra la comparación de *L, *a y *b entre una barra comercial, el control y los tratamientos, en donde los tratamientos 1 y 2 se aproximan significativamente a los valores de la barra comercial en contraste con los tratamientos 3 y 4.

De manera similar a los resultados obtenidos, Rocha *et al.* (2015) encontró que el color en productos de panificación, es influenciado por la cocción y la formulación de estos. Así mismo, demuestra que la adición de pulpa de manzana y el aumento en el nivel de incorporación en la formulación de galletas hay un decrecimiento en el valor de *L, además de reportar valores positivos y altos en los parámetros de a y b, comprobando el oscurecimiento en el producto de panificación.

Water-House *et al.* (2010) muestra que la fibra de manzana en barras tiene un efecto sobre el valor L*, además de presentar valores positivos para los parámetros a* y b*, comprobando lo rojizo y la amarillez de las barras, donde b* decrece al incorporar fibra de manzana. Shabir *et al* (2014) comprobó que un incremento de fibra de pulpa de manzana en crackers provoca una disminución en *L en contraste con los valores de *a y *b que aumentan conforme se incrementa el nivel de adición de la fibra. En un estudio similar Kohajdová *et al.,* (2011) explica que la sustitución de harina de trigo con fibra de manzana provoca una disminución en el parámetro *L además de un incremento en los valores positivos del parámetro *a.

Los cambios de color de productos de panificación, son asociados al color característico de este subproducto, así como al contenido de polifenoles, pero también a la exposición prolongada a altas temperaturas, así como reacciones de Maillard y caramelización que ocurren durante el horneado.

La fibra de manzana provoco un oscurecimiento de las muestras, sin embargo los valores obtenidos de los parámetros L, a* y b*, no se encuentran tan alejados a los de la barra comercial y el control, esto sugiere que el subproducto de manzana además de contribuir al enriquecimiento de fibra, también ayuda al aspecto del producto final.

3.4 Evaluación sensorial

Las muestras empleadas para la evaluación sensorial fueron seleccionadas en base a los resultados obtenidos en el análisis de perfil de textura y color instrumental comparado con los de una barra comercial, como se observa en los Figura 5 y 6 anteriormente presentado; se aprecia que los tratamientos 2 y 3 muestran un comportamiento aproximado al de la barra comercial, en contraste con los tratamientos 1 y 4. Debido a ello, las muestras empleadas para la evaluación sensorial fueron los tratamientos 2 y 3, que junto con el control fueron presentadas a 50 jueces no entrenados, quienes indicaron su nivel de agrado y desagrado en un test hedónico no estructurado.

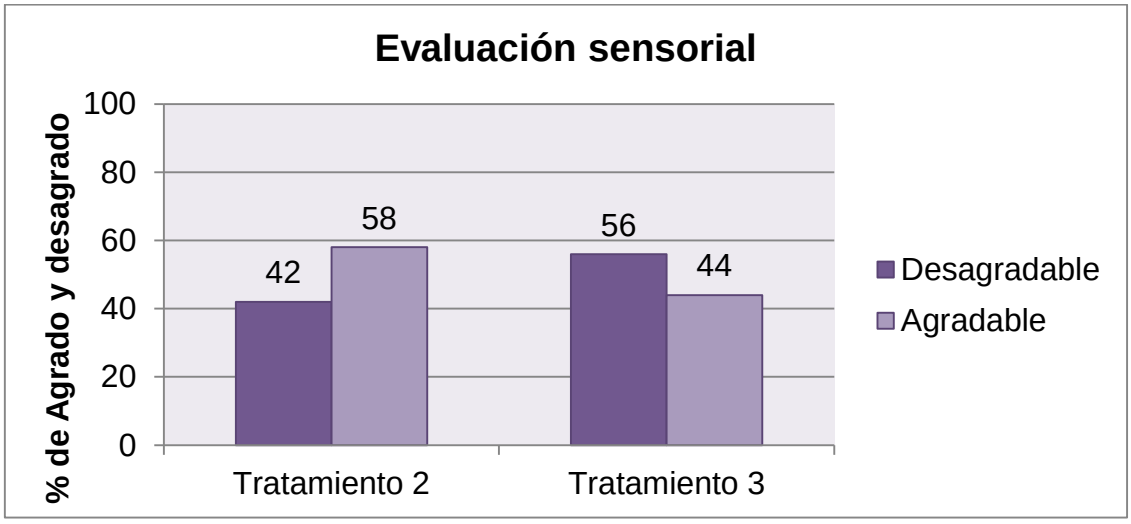

Figura 7. Resultados de evaluación sensorial

La Figura 7 muestra que el 58% de los jueces indicaron un agrado por el tratamiento 2, y un 44% por el tratamiento 3, sin embargo el 42% y 56% mostraron un desagrado hacia los tratamientos 2 y 3, respectivamente.

El análisis de varianza de la evaluación sensorial (Anexo 3, Figura 3.1); indica que existe una diferencia significativa ($P<0.05$) entre el control y los tratamientos. La prueba de comparación de medias Tukey (Anexo 3, Figura 3.2) no muestra una diferencia de medias entre el tratamiento 2 y 3. Esto quiere decir, la preferencia

del consumidor entre el control y los tratamientos fue afectada por la fibra de manzana, pero no por la cantidad que fue adicionada, debido a que entre los tratamientos 2 y 3 no hubo diferencias significativas.

Existe una variedad de investigaciones en las que se evalúa la preferencia de panelistas hacia productos adicionados con fibra de manzana, y de manera similar a los resultados obtenidos Shabir *et al.* (2014), comprobó que la evaluación sensorial de galletas adicionadas con pulpa de manzana en un 3%, 6% y 9%; no diferían en gran medida del control, además de ser bien aceptadas por el consumidor. Por otra parte Vasantha *et al.* (2008) mostró que la aceptabilidad de muffins sustituidos con polvo de piel de manzana en 8%, 16% y 24% en comparación del control, no presentaba diferencias significativas, sin embargo expresa que un 24% de sustitución comenzaba a no ser aceptado por los panelistas debido a la alta cohesividad y la dificultad que presentaba al ser tragado. Kohajdová *et al.,* (2011) reporta no haber encontrado diferencias significativas entre las galletas adicionadas con fibra de manzana en un 0, 5 y 10%, e indica la presencia de un sabor y olor frutal en las galletas adicionadas con fibra de manzana. De manera similar Kuserova *et al.,* (2013) menciona que la fibra de manzana en pan; presento el mejor sabor a comparación de las fibras de papa y bamboo, además de dar un color dorado-café en la corteza.

La fibra de manzana en las barras tuvo influencia sobre la preferencia del consumidor, mostrando el mismo agrado para los dos niveles de sustitución (5% y 7.5%)

3.5 Evaluación nutrimental

La serie de análisis y evaluaciones expuestas anteriormente, además de demostrar el efecto de la adición de fibra de manzana sobre la barra energética; contribuyeron a la selección del tratamiento con las mejores características panaderas. El perfil de textura y color instrumental ayudo a descartar los tratamientos con valores poco similares a los de la barra comercial, resultando ser los tratamientos 2 y 3 (5% y 7.5% de fibra de manzana) los adecuados para la evaluación sensorial, en la cual ambos tratamientos fueron aceptados por el consumidor, sin embargo, el tratamiento 3 por el porcentaje de sustitución con fibra de manzana, fue seleccionado como el mejor tratamiento para la evaluación nutrimental. Los resultados del análisis químico proximal incluyendo cenizas,

humedad, extracto etéreo y proteínas realizados para el control y el tratamiento 3 se exponen a continuación.

Tabla 13. Análisis químico proximal de la barras control y el tratamiento 3

	Muestras	
Parámetros (%)	**Control**	**Tratamiento 3**
*Cenizas totales	1.18σ0.02	1.14 σ0.05
**Humedad	2.61 σ 0.49	4.52σ0.02
***Extracto etéreo	29.02 σ 2.03	44.66 σ3.15
****Proteína	8.06 σ 0.038	8.18 σ 0.038
*****Fibra dietética	6.05	11.88

*AOAC 923.03 (1990). Determinación de Cenizas Totales. **AOAC 930.15 (1990). Determinación de humedad. **AOAC 920.39 (1990). Determinación de Extracto etéreo. ****AOAC 995.39 (1983) Determinación de proteínas *****AOAC 985.29 (1996) Determinación de fibra dietaría total.

3.5.1 Cenizas totales

Las interacciones entre nutrientes pueden aumentar o disminuir la disponibilidad metabólica de algunos nutrientes, entre estas interacciones se encuentra la fibra alimentaria y algunos elementos minerales, tales como hierro, zinc, cobre, calcio y magnesio. (Serra *et al.*, 2006)

Los minerales tienen diversas funciones en el cuerpo, son empleados para la construcción de los tejidos corporales como los huesos, dientes músculos y otras estructuras orgánicas, además de funcionar como reguladores del metabolismo, también son componentes o activadores importantes de enzimas y hormonas

esenciales. Los minerales se encuentran en plantas, las cuales obtienen estos elementos del suelo. (Williams, 2002)

El contenido total de minerales en un alimento es considerado como las cenizas totales, y su análisis es importante para la evaluación nutricional de los alimentos (Suzanne, 2009) Para ello las muestras son calcinadas provocando la destrucción de la materia orgánica, en donde el residuo es determinado gravimétricamente y considerado como cenizas totales (A.O.A.C 923.03, 2005).

El porcentaje de cenizas totales para la muestra tratamiento 3 fue de 1.14 $\sigma 0.05$, 0.02 unidades menor al mostrado por el control ($1.18_{\sigma 0.02}$). En productos de panificación adicionados con fibra de manzana a comparación del control, reportan encontrar similitudes en el contenido de cenizas, presentando 0.02 unidades de diferencia entre ellos, como se reporta en los resultados obtenidos. (Reis *et al.,* (2012; Uysal *et al.,* 2007; Shabir *et al.,* 2014)

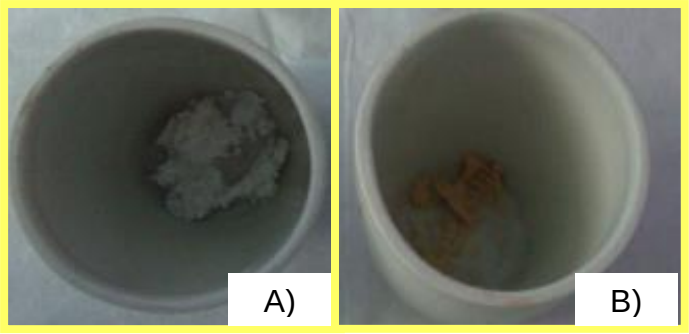

Figura 8. Cenizas de A) Barra control, B) Barra con 7.5% de fibra de manzana (Tratamiento 3)

3.5.2 Humedad

El agua tiene un rol importante en los productos de panificación, ya que tiene la función de disolver los ingredientes, además de hidratar proteínas, almidones y agentes leudantes, por otro lado durante el horneado el vapor de agua expande las celdas de aire aumentando el volumen del producto final. (Sánchez, 2003, Lauterbach & Albrecht, 1994)

Para la determinación de humedad se empleo el método de estufa de aire propuesta por la A.O.A.C 1990. El porcentaje de humedad obtenido para el tratamiento 3 fue de $4.52_{\sigma 0.02}$, significativamente mayor a la mostrada en el control, la cual fue de $2.61_{\sigma\ 0.49}$. Uysal *et al.* (2007) demostró que al aumentar el contenido de fibra de manzana en un 15, 20 y 30% en galletas también hay un incremento en la humedad de estas. Estos resultados se pueden asociar a las propiedades de hidratación de la fibra, ya que la fibra al estar en contacto con agua, esta comienza a ser absorbida debido a la naturaleza hidrofilica de la fibra dietaría. Las propiedades de hidratación dependen de la estructura química, la porosidad, tamaño de partícula, forma iónica, pH, temperatura, fuerza iónica, de los tipos de iones en solución y la tención a la que es sometida. (Delcour & Potanen., 2013). Algunas de las propiedades de hidratación de la fibra son: la capacidad de retención de agua, capacidad de absorción de agua y capacidad de adsorción de agua.

La capacidad de retención de agua de proteínas y polisacáridos proporcionan frescura a alimentos (Baudi, 2009), por ejemplo la capacidad de absorción de agua de algunas fibras proporciona frescura y prolonga la vida de anaquel en productos de panificación (Hamaker, 2008). La implementación de fibras vegetales o hidrocoloides en productos de panificación puede desacelerar la migración de agua de la miga a la corteza y del almidón al gluten, lentificando el proceso de envejecimiento que provoca el desmoronamiento de la miga debido a la perdida de interacciones intermoleculares entre ingredientes, asociado comúnmente por la pérdida de agua; además de ello las fibras proporcionan frescura y textura al producto final (Lyango *et al.*, 2015; Rocha *et al.*, 2015)

Las propiedades de hidratación además de tener beneficios tecnológicos en los alimentos también tienen efectos fisiológicos en los humanos, por ejemplo, las fibras con buenas propiedades de hidratación de agua provocan un aumento en el peso de las eses fecales, lentifican la tasa de absorción de nutrientes desde el intestino, son laxantes, reducen el colesterol en sangre, la glucosa en sangre, el riesgo de trastornos crónicos como enfermedades coronarias, diabetes, obesidad y algunas formas de cáncer. (Figuerola *et al.*, 2005; Elleuch *et al.*, 2011)

3.5.3 Extracto etéreo

La tendencia a desarrollar productos reducidos en grasa, ha requerido de la implementación de otros componentes que cumplan con funciones similares a la de la grasa; en otros casos la sustitución de grasa implica una adición extra de agua. Algunas fibras dietarías son empleadas con la finalidad de controlar esta adición extra de agua, manteniendo la jugosidad y textura del producto original sin tener repercusiones en el sabor. (Kasapis *et al.*, 2009).

Las grasa en productos de panificación contribuye a la retención de gas durante la expansión de la masa y de algunos aromas durante el horneado, además ayuda a la obtención de migas blandas logrando en estos productos un aspecto de frescura. (Boatella *et al.*, 2004)

El extracto etéreo se refiere a la fracción de lípidos totales que engloban los acilgliceridos, glucosilacilglicéridos, fosfoglicéridos, esfingolípidos, ceras y lípidos no saponificables como los terpenos entre ellos carotenoides, vitaminas A, E y K; y esteroides (Hernández & Sastre, 1999). Existe una variedad de métodos para la determinación de lípidos totales, en este estudio se empleo el método oficial Soxhlet que consiste en la extracción de grasa de una muestra a través de un disolvente orgánico no polar, en condiciones establecidas. (Hui, 2005; Nielsen, 2015).

El porcentaje de extracto etéreo obtenido para el tratamiento 3 es de 44.66 σ3.15, 15.64 unidades por arriba del control que es de 29.02 σ 2.03. Estos resultados pueden atribuirse a las propiedades químicas de la fibra de manzana, debido a que él porcentaje de extracto etéreo de esta es de 7.7%

Por otro lado este resultado refleja la capacidad de la fibra de manzana de retener grasas dentro de su estructura porosa con ayuda de medios mecánicos (Matos-Chamorro & Chambilla-Mamani, 2010; Kasapis *et al.*, 2009). La capacidad de retención de aceite depende de las propiedades de superficie, la densidad de cargas, espesor y la naturaleza hidrofobica de la fibra (Kasapis *et al.*, 2009).

Las pectinas de la manzana han sido empleadas para remplazar el shortening en galletas, afectando el diámetro de propagación e incrementando el contenido de humedad, además contribuyo a la obtención de una textura suave y un color superficial claro comparadas con las muestras sin pectinas. (Rabetafika *et al.,* 2014).

Figura 9. Determinación de extracto etéreo**.** A) Sistema Soxhlet, B) Extracto etéreo del tratamiento 3

3.5.4 Proteínas

Las proteínas tienen un papel importante en la elaboración de productos de panificación, desde la masa hasta la obtención del producto final. Las Gliadinas y gluteinas, proteínas de almacenamiento presentes en la harina, al unirse forman el complejo gluten, fundamental en las calidad y estructura de productos de panificación de trigo. (Gallagher, 2009)

Por otra parte, el huevo también contribuye al contenido proteico en productos de panificación, y consecuentemente ayuda a la capacidad de retención de gas, aportando estructura y mayor volumen en productos de panificación. De manera similar las proteínas de leche ayudan a reforzar la estructura de la masa. (Boatella *et al.*, 2004) Sin embargo, otros componentes adicionados a productos de panificación también pueden contribuir al contenido proteico de estos, como la

fibra dietaría que además de encontrase unida a ceras, minerales y otros materiales, también está unida a proteínas. (Mela, 2005)

El contenido de proteína en las muestras fue cuantificado a través del método micro-kjeldahl propuesto por la A.O. A. C, en donde los resultados obtenidos (Tabla 13) muestran que el contenido de proteína del control (8.06 σ 0.038) fue 0.12 unidades menor al reportado en la muestra tratamiento 3 (8.18 σ 0.038), esta diferencia poco significativa se puede asociar a las pequeñas cantidades de proteínas no digestibles que se encuentran dentro de la estructura de la fibra. (Spiller, 2001)

La composición proteica de los subproductos de la manzana es de entre 2.06 a 6.98% (Ktenioudaki & Gallagher, 2012; Sudha *et al.,* 2007; Teixeria *et al.,* 2015, O'Shea *et al.,* 2015), cantidad que pudo influenciar positivamente en el valor proteico de las muestras sustituidas con fibra de manzana.

3.5.5 Fibra dietaría total (FDT)

La fibra dietaría ha sido ampliamente aplicada y estudiada en una gran variedad de alimentos, esto debido a la relación que tiene con la salud, especialmente con la reducción y prevención de algunas enfermedades.

La fibra se localiza principalmente en la pared celular de las plantas, en donde se encuentran polisacáridos no digeribles como la celulosa, hemicelulosa, pectinas, oligosacaridos, gomas y varios componentes lignificados (FAO, 2015). Esta se clasifica por sus propiedades de solubildad y fermentabilidad, en donde por su solubilidad, se encuentran las fibras solubles, las cuales son capaces de formar un retículo en contacto con el agua, además, son capaces de formar soluciones de alta viscosidad y retención de agua, entre ellas se encuentran las pectinas, algunas hemicelulosas, las gomas, los mucilagos y los polisacáridos procedentes de las algas. Por otra parte las fibras insolubles forman soluciones de escasa viscosidad y tienen una baja capacidad de retención de agua, estas son la celulosa, hemicelulosas y lignina. (Rodríguez & Simon, 2008)

Actualmente los subproductos originados por el procesamiento de frutas, han sido considerados como una buena fuente de fibra dietaría, es así que los subproductos generados en la transformación de la manzana en cidra o bien a

jugo; son considerados como buenas fuentes de fibra dietaría, especialmente de fibra insoluble (Rocha *et al.,* 2015), además, el balance de fibra soluble e insoluble son los adecuados para la salud, (O´shea *et al.*, 2012).

Para la determinación de fibra dietaría se empleo el método analítico reconocido descrito por la A. O. A. C el cual simula la digestión de la comida en el tracto gastrointestinal, recuperando las fibras intactas por gravimetría (Salovaara *et al.,* 2007) , este método determina grupos de polisacáridos, lignina, almidon resistente y otros componentes asociados, como ceras, componentes fenólicos y productos de la reacción de Maillard (Elleuch *et al,* 2011)

En la Tabla 13 muestra que el tratamiento 3 presenta un contenido de fibra dietaría mayor (11.88 %) al del control (6.05%), es decir, mostro contener aproximadamente un 96% más de fibra dietaría total, claramente atribuido al contenido de fibra que tienen los subproductos de manzana, el cual se encuentra entre 30.15–76.84 % (Ktenioudaki *et al.,* 2013; Sudha *et al.,* 2007; Teixeria *et al.,* 2015, O'Shea *et al.,* 2015, Ktenioudak & Gallagher, 2012), además se considera que los subprudctos de frutas son mejores fuentes de fibra soluble comparado con frutas, vegetales y cereales (O'Shea *et al.,* 2012)

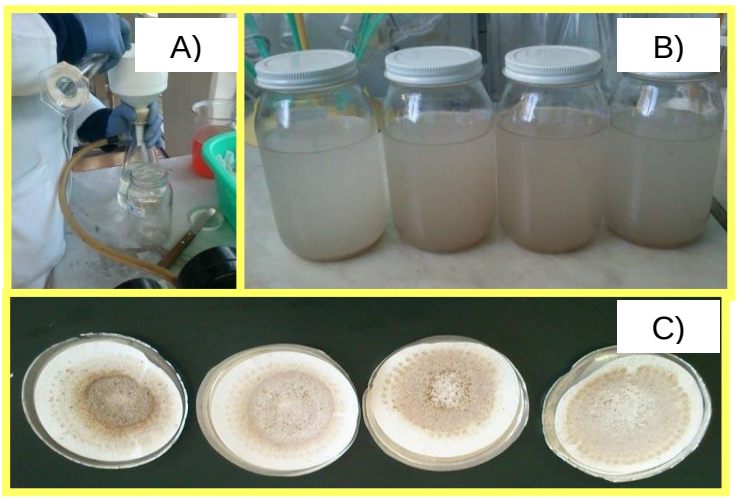

Figura 10. Determinación de fibra dietaría total (FDT). A) Muestras obtenidas después de incubaciones y reposo, B) Filtración de muestras, C) Muestras después de filtración

Tabla 14. Productos de panificación sustituidos con fibra de manzana

Productos sustituidos	% de sustitución	% Fibra Dietaría Total
***Crakers**	0-9	4.4-4.51
****Cake**	0-25	13.73
*****Muffings**	0-32	6.3
******Productos extruidos**	0-30	5.5
******Productos de panadería**	0-30	9.9
*******Barra snack con fibra de manzana**	----	2.82
Tratamiento 3	7.5	11.8

* Shabir *et al*., 2015 ** Sudha *et al*., 2007*** Vasantha *et al*., 2007 **** Reis *et al.,* 2012 ***** Sun-Waterhouse *et al*., 2010

En la Tabla 14 se presenta el efecto de la adición de fibra de manzana aplicado a diferentes productos de panificación, en donde se observa que en todos los casos el uso de este subproducto provoca un incremento en el contenido de fibra dietaría total, resultados con efectos similares en el tratamiento 3.

3.6 Predicción del índice glucémico (GI)

El índice glucémico también llamado glucosa en sangre o azúcar en sangre, es una forma de evaluar y clasificar alimentos basados en que tan rápido son degradados los carbohidratos, y como esto afecta la azúcar en sangre. (Torkos, 2013; Spiller, 2001). Es un indicador del incremento de la glucemia que se produce después de ingerir un alimento en comparación con el aumento producido por la ingestión de glucosa. (Casanueva *et al.,* 2008)

La Figura 11 muestra el efecto que presenta la fibra de manzana en la barra en comparación con el pan blanco y la barra control, en donde claramente se observa que el tratamiento 3 libera cantidades menores de glucosa con forme pasa el tiempo al contrario de la barra control y el pan blanco, los cuales liberan cantidades significativamente mayores a la del tratamiento 3. Las muestras en el rango de tiempo 0 a 60 min crecen hasta estabilizarse en el tiempo igual a 75min con 0.0161 mmol/mL para el pan blanco, 0.0128 mmol/mL para la barra control y 0.0126 mmol/mL para el tratamiento 3.

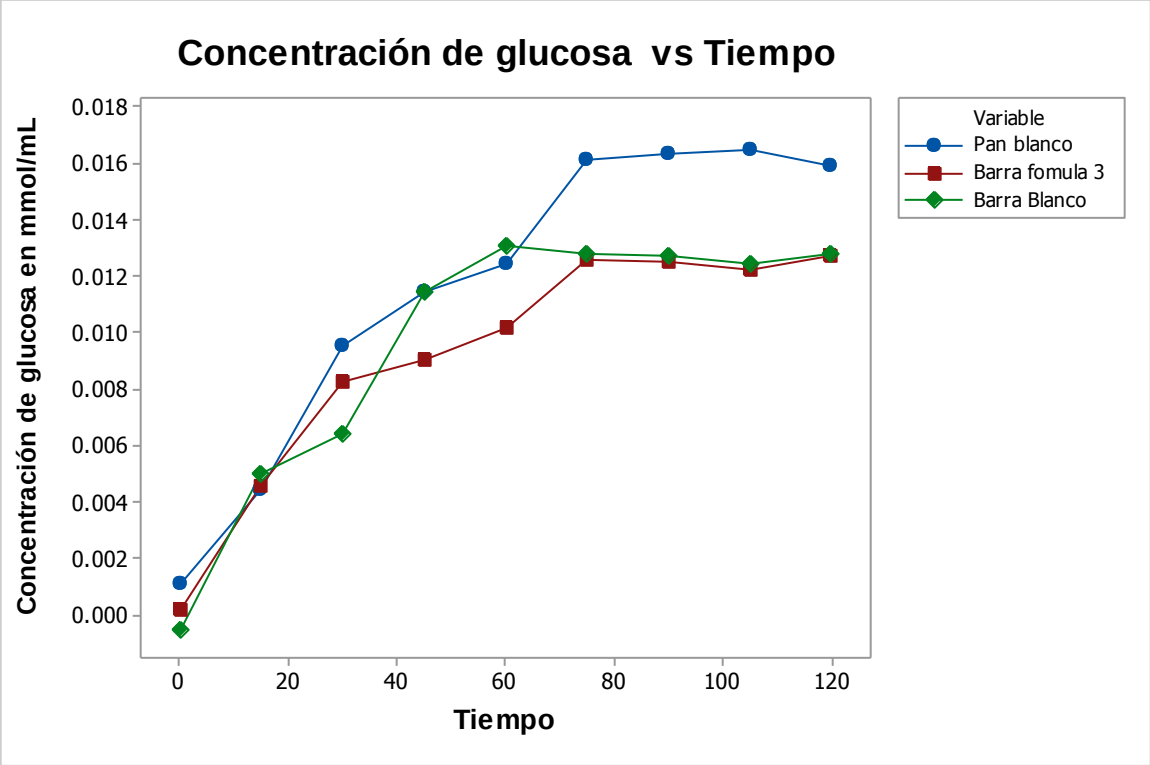

Figura 11. Curva de liberación de glucosa

Tabla 15. IG de la barra control y el tratamiento 3

Muestra	IG
Pan blanco	100
Barra blanco	84.72
Tratamiento 3	77.08

Por otra parte, la Tabla 15 presenta el IG obtenido para las muestras, en donde se observa que el valor de la barra control es significativamente mayor a la del tratamiento 3, esto quiere decir que la adición de fibra de manzana provoco una disminución del IG en 7.64 unidades.

La fibra provoca la disminución de la velocidad de absorción de glucosa en el intestino, entre un 10 y un 60% con respecto a la absorción en ausencia de fibra. (Soriano, 2006). Las fibras insolubles debido a su escasa capacidad de formar soluciones viscosas, producen un pequeño efecto sobre la glucemia pospandrial, al contrario de las fibras solubles, las cuales por su alta capacidad para formar soluciones viscosas en el estomago e intestino delgado, retrasan la absorción de glucosa y además pueden llegar a disminuir el colesterol sanguíneo. (Erdnab *et al.,* 2012; O'Shea *et al.,* 2012)

El remanente de la pared celular de la fibra en el intestino delgado impide el acceso de la amilasa pancreática al almidón lentificando la liberación de glucosa, provocando frecuentemente que una fracción del almidón ingerido alcance el colon. (Erdnab *et al.,* 2012)

El mecanismo de acción de la fibra sobre la absorción de glucosa, se debe principalmente a la capacidad que tiene de incrementar la viscosidad en la capa adyacente de fluido a las células epiteliales de la superficie de la mucuosa. Para que la glucosa y otras sustancias lleguen al epitelio estas deberán permanecer en el límite de la capa, ya sea por corrientes de agitación o por el proceso de difusión, si estos movimientos son inhibidos por la alta viscosidad, entonces aumenta la resistencia del límite de la capa y lentifica el transporte global de los nutrientes. (Erdnab *et al.,* 2012; FAO/OMS, 1997)

Debido a los resultados anteriormente expresados, el subproducto de la producción de cidra de manzana es un buen ingrediente para la reducción del índice glucémico que disminuyo considerablemente el índice de la barra control.

Conclusiones

La fibra de manzana adicionada en las barras energéticas provoco cambios en las propiedades físicas, químicas, sensoriales y funcionales de la barra energética y se desglosan a continuación:

- La calidad panadera fue afectada por la adición de fibra de manzana.
- Sensorialmente, la fibra de manzana no presento un efecto significativo sobre la preferencia del consumidor.
- La fibra de manzana mejoró la composición química de la barra energética incrementando el valor nutrimental, además de aumentar el contenido de fibra dietaría.
- El índice glucémico disminuyó por la adición de fibra de manzana a la formulación de la barra energética.

Con ello se concluye que la fibra de manzana es un buen ingrediente para la implementación en barras energéticas, debido al aporte de fibra dietaría y su contribución a la disminución del índice glucémico, así como al aprovechamiento de residuos generados por industrias de producción de sidra.

Bibliografías

- AOAC 920.39 (1990). Determinación de Extracto etéreo. Método Soxhlet.
- AOAC 923.03 (1990). Determinación de Cenizas Totales. Método Gravimétrico.
- AOAC 923.03 (2005). Determinación de Cenizas Totales. Método Gravimétrico.
- AOAC 930.15 (1990). Determinación de humedad. Método de estufa de aire.
- AOAC 985.29 (1996).Determinación de fibra dietaría total.
- AOAC 995.39 (1983).Determinación de proteínas. Método Kjeldahl.
- Álvarez, A. (2012). Las consecuencias de la aceleración. Enfermedad, problemas medioambientales, residuos, patologías mentales. Eco salud. Recuperado el 4 de febrero del 2104 de: http://ecosalud.info/biblioteca/las-consecuencias-de-la-aceleracion-enfermedad-problemas-medioambientales-residuos-patologias-mentales/
- Años, B. Soto, S. Aquino, E. Hernández, A. Hernandez, J & Guemes, N. (s.f) Evaluación de las propiedades reológicas de masas y panes adicionados con fibra soluble. Instituto de Ciencias Agropecuarias de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.
- Badui, S., (2009). Química de los alimentos. México, Pearson Educación.
- Baechle, R & Earle, W. (2007) Principios del entrenamiento de la fuerza y del acondicionamiento físico. Madrid: Editorial medica Panamericana
- Bellido, D. & De Luis Román, D. (2006) Manual de nutrición y metabolismo. España: Díaz de Santos.
- Bernabé, C. (2009). Influencia de los componentes de la harina en panificación.
- Boatella, J. Codony, R. & López, A. (2004). Química y bioquímica de los alimentos II. Universidad de Barcelona
- Calvo, S. Escudero, E. Gómez, C. & Riobó, P. (2012) Patologías nutricionales en el siglo XXl: Un problema de salud pública. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Casanueva, E. Kaufer, M. Pérez, & A. Arroyo, P. (2008) Nutriología Médica. México: Editorial médica panamericana.
- Casanueva, F. & Vázquez J. (1995). Endocrinología clínica. España, Díaz Santos.
- Cervantes, J. (2011). Diseño y elaboración de una barra energética aprovechando un residuo agroindustrial incorporada con un probiótico. (Licenciatura). Escuela nacional de Ciencias Biológicas.

- Chen, H. Rubenthaler, G. Leung, K. Baranowski, J. (1988). Chemical, physical, and baking properties of apple fiber compared with wheat and oat bran. Cereal chemestry, 65, 244-247.
- Codex Alimentarius Commission. (2009). Report of the 30th Session of the Codex Committee on Nutrition and Foods for Special Dietary Uses. ALINORM 09/32/26. 27-54. p. 46.
- Collar,C. Santos, E., Rosell, C.M. (2007). Assessment of the rheological profile of fibre-enriched bread doughs by response surface methodology. Journal of Food Engineering 78, 820–826
- COMECYT. (s.f). Estudio de tendencias y oportunidades para el sector de alimentos procesados del estado de México, FUMEC. Recuperado el 29 de abril del 2014 de http://fumec.org.mx/v6/htdocs/alimentos.pdf
- Córdoba, A., (2005). Caracterización de propiedades relacionadas con la textura de suspensiones de fibras alimentarias. (Doctoral). España, Departamento de tecnología de alimentos, Universidad politécnica.
- Delcour, A & Potanen, K. (2013). Fibre-rich and wholegrain foods. Improving quality. Philadelphia: Woodhead Publishing
- Dreher, M. (1987). Dietary fiber content of food sources. Handbook of Dietary Fiber: An Applied Approach. Marcel Dekker: New York.
- Elleuch, M. Bedigian, D. Roiseux, O. Besbes, S. Blecker, C. & Attia, H. (2011) Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. Food Chemistry, 124, 411–421
- Erdnab, J. Macdonald, I. & Zeisel, S. (2012). Dietary fiber. Institute of food research. UK: Norwich.
- Falcón, M. Barrón, J. Romero, A. & Domínguez, M. (2011). Efecto adverso en la calidad proteica de los alimentos de dietas con alto contenido de fibra dietaría. Revista Chilena de Nutrición, 28, 369-375.
- FAO (1999). Los carbohidratos en la nutrición humana. Estudio FAO alimentación y nutrición. Roma
- FAO (2015). Dietary Fibre. Recuperado el 1 de noviembre del 2015 de: http://www.fao.org/docrep/t0818e/t0818e0f.htm
- Figuerola, F. Hurtado, M. Estévez, A. Chiffelle, I. & Asenjo, F. (2005). Fibre concentrates from apple pomace and citrus peel as potencial fibre sources for food enrichment. Food Chemistry, 91, 395–401
- Foschia, M. Peressini, D. Sensidoni, A. & Brennan, C. (2013). The effects of dietary fibre addition on the quality of common cereal products. Journal of Cereal Science, 58, 217-227.

- Gallagher, E. (2009). Gluten- Free Food Science and Technology. USA: WILEY-BLACKWELL.
- Gómez, A. (2014). Sobrepeso y Obesidad. Salud.df.gob.mx. Recuperado el 01 Junio del 2014 de http://www.salud.df.gob.mx/ssdf/index.php?option=com_content&task=view&id=4034
- Guillon, F & Champ, M. (2000) Structural and physical properties of dietary fibres, and consequences of processing on human physiology. Food Research International, 33, 233-245.
- Hamaker, B. (2008). Technology of functional cereal products. Inglaterra: Woodhead publishing limited.
- Heredia, A. Jiménez, A. Fernández, J. Guillen, R. & Rodríguez, R. (2002). Fibra alimentaria. Madrid: Consejo superior de investigaciones científicas.
- Hernández, A., (2010) Tratado de Nutrición: Bases Fisiológicas y bioquímicas de la nutrición. España: Panamericana
- Hernandez, M. & Sastre, A. (1999). Tratado de nutrición. España: Díaz Santos.
- Hui, Y. (2005). Handbook of food science, technology and engineering. USA: New York, Taylor & Francis.
- Hunterlab. (2012). Hunter L, a, b vs CIE L*, a*, b*. Measuring Color using Hunter L, a, b versus CIE 1976 L*a*b*. Recuperado el 10 de junio del 2015 de file:///C:/Users/PC/Desktop/color%20hunterlab.pdf
- Kasapis, S. Norton, I. & Ubbink, J. (2009). Modern Biopolymer Science: Bridging the divide between fundamental treatise and industrial application. United States of America: ELSEVIER.
- Kaufer A., (2006). Nutriología medica. México: Editorial Médica Panamericana
- Kohajdova, A. Karovičová, J. Jurasová, M. & Kukurová. K. (2011) Effect of the addition of commercial apple fibre powder on the baking and sensory properties of cookies. Acta Chimica Slovaca, Vol.4, No.2, 88 – 97
- Ktenioudaki, A. & Gallagher, E. (2012). Recent advances in the development of high-fibre baked products. Trends in Food Science & Technology, 28, 4-14
- Ktenioudaki, A. O´shea, N. & Gallagher, E. (2013). Rheological properties of wheat dough supplemented with functional by-products of food processing: Brewer´s spent grain and apple pomace. Journal of Food engineering, 116, 362-368.
- Kuserova, J. Sottnikova, V. & Nedomova, S. (2013). Influence of dietary fibre addition on the rheological and sensory properties of dough and bakery products. Czech Republic, Department of food technology, Mendel University.

- Larrauri, J. (1999). New approaches in the preparation of high dietary fibre powders from fruit by-products. Trends in Food Science & Technology, 10, 3–8.
- Lauterbach, S & Albrecht, J. (1994). Functions of Baking Ingredients. University of Nebraska-Lincoln. Recuperado el 25 de enero del 2015 http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1412&context=extensionhist
- Lauterbach, S. & Albrecht, J. (1994). Functions of baking ingredients. Historical Materials from University of Nebraska-Lincoln Extension.
- Lyango, H. Valverde, K. & Mayaute, Y. (2015) Evaluación de la goma de tara (Caesalpinia Spinosa) como retenedor de humedad en una premezcla para pan de molde. Recuperado el 20 de enero del 2016 de https://issuu.com/3ciencias/docs/evaluaci__n_de_la_goma_de_tara__cae
- Mataix, J. & Gassull, M. (2015). Nutrición y alimentación humana. Madrid: Ergon
- Matos-Chamorro, A. & Chambilla-Mamani, E. (2010) Importancia de la Fibra Dietética, sus Propiedades Funcionales en la Alimentación Humana y en la Industria Alimentaria. Ciencia y tecnología de los alimentos. Universidad Peruana Unión.
- Mela, D. (2005). Food, diet and obesity. Inglaterra: CRC Press.
- Nielsen, S. (2015). Food Analysis Laboratory Manual. West Lafayette: Springer.
- O'Shea, N. Ktenioudaki, A. Smyth, T. McLoughlin, P. Doran, L. Auty, M. Arendt, E. & Gallagher, E. (2015) Physicochemical assessment of two fruit by-products as functional ingredients: Apple and orange pomace. Journal of Food Engineering, 153, 89–95.
- O'Shea, N. Arendt, E. & Gallagher, E. (2012) Dietary fibre and phytochemical characteristics of fruit and vegetable by-products and their recent applications as novel ingredients in food products. Innovative Food Science and Emerging Technologies 16, 1–10.
- Prieto, P. & Villaseñor, S. (2009). Fibra. Dieta Y Salud. Recuperado de https://www.kelloggsnutrition.com/content/dam/globalnutrition/es_MX/resources/Resources-Dieta_y_Salud_Fibra.pdf
- Pro México., (2010). Innovación alimentaria. Secretaria de Economía de México. Recuperado el 29 de abril del 2014 de http://www.promexico.gob.mx/es_ca/promexico/Innovacion_Alimentaria
- Rabetafika, H. Bchir, B. Blecker, C. & Richel, A. (2014). Fractionation of apple by products as source of new ingredients: Current situation and perspectives. Trends in Food Science & Technology, 40, 99-114.

- Reis, S. Rai, D. & Abu-Ghannam, N. (2012) Apple pomace as a potential ingredient for the development of new functional foods. International Conference on Food Safety, Quality and Nutrition (ICFSQN).
- Rocha, A. Robotta, P. & Ferrero, C. (2015) Apple pomace in gluten-free formulations: effect on rheology and product quality. International Journal of food Science and Technology, 50, 682-690.
- Rodríguez, V & Simón, E. (2008). Bases de la alimentación humana. España: Netbiblo.
- Rosenthal, A. (2001). Textura de los alimentos. Medidas y percepción. España, Acribia.
- Salovaara, H., Gates, F., Tenkanen, M. (2007). Dietary fibre components and functions. Netherlands, Wageningen Academic Publishers.
- Sánchez, T. (2003). Procesos de elaboración de alimentos y bebidas. Madrid: AMV ediciones.
- Saura, F & Jiménez, A. (2001). Fibra dietética en Iberoamérica: Tecnología y salud. Brasil: Varela.
- Schweizer, T & Edwards, C. (1992) Dietary Fibre- A component of Food Nutritional Function in Health and Disease. Londres, Springer.
- Serra, L. & Aranceta, J. (2006) Nutrición y salud pública. Métodos, bases científicas y aplicaciones. España, ELSEVIER.
- Shabir, A. Sowriappan, J. Manzoor, A. Swaminathan, S. Mohammad, M. (2014). Effect of apple pomace on quality characteristics of brown rice based cracker. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences
- Spiller, G. (2001). CRC Handbook of Dietary Fiber in Human Nutrition. USA: CRC Press.
- Sudha, M. Baskaran, V. & Leelavathi, K. (2007). Apple pomace as a source of dietary fiber and polypenols and its effect on the rheological characteritics and cake making. Food chemistry, 104, 686-692.
- Sullivan, P. O´Flaherty, J. Brunton, N. Arendt, E. & Gallagher, E. (2010) Fundamental and rheological and textural properties of doughs and breads produced from milled pearled barley flour. European Food Research and Technology, 231, 441-453.
- Sungsoo, S., & Dreher M. (2001). Handbook of Dietary fiber. United States of America: Marcel Dekker.
- Sun-Waterhouse, D. Teoh, A. Massarotto, R. & Wadhwa, S. (2010). Comparative analysis of fruit-based functional snack bars. Food chemistry, 119, 1369-1379.
- Suzanne, S. (2009). Food analysis. USA, Springer.

- Teixeria, F. Moura, F. Santos, L. Bizzani, M. & Silva, L. (2014). Caracterização nutricional e resposta sensorial de pães de mel com alto teor de fibra alimentar elaborados com farinhas de subprodutos do processamento de frutas. Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre, 32, 201-210.
- Teixeria, F. Rodrigues, L. Sampaio, B. Aline, F. Bizzani, M. & Picolli, L (2015). Biological properties of Apple pomace, orange bagasse and passion fruit peel as alternative sources of dietary fibre. Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre, 6, 1-6
- Torkos, S. (2013). The Canadian encyclopedia of natural medicine. Canada: WILEY.
- Ulrike, B. (2007) Effects of fermentable carbohydrates and dietary P supply on bacterial P incorporation, activity and composition in the gastrointestinal tract of pigs. Gotinga: Cuvillier Verlag Göttingen.
- Uysal, H., Bilgicli, N., Elgun, A., Ibanoglu, S., Herken, E. N., & Demir, M. K. (2007). Effect of dietary fibre and xylanase enzyme addition on the selected properties of wire-cut cookies. Journal of Food Engineering, 78, 1074-1078.
- Valdivia, A. & Navarro,M. (2010) Evaluación del efecto de la proporción de fibra de cascara de piña sobre el índice glucémico y la textura de barras energéticas. Tesis. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.
- Vasantha, H. Wang, L. Huber, G. & Pitts, N.(2008). Effect of baking on dietaru fibre and phenolics of muffins incorporated with apple skin power. Food Chemestry, 107, 1217-1224.
- Vega, G. (2009). Proteínas de la harina de trigo: clasificación y propiedades funcionales. Temas de Ciencia y Tecnología. Recuperado el 25 de enero del 2015 http://www.utm.mx/edi_anteriores/Temas38/2NOTAS%2038-1.pdf
- Velásquez, G. (2006). Fundamento de alimentación saludable. Colombia: Universidad de Antioquia.
- Vergara, N. (2005) Obtención de fibra dietética antioxidante a partir de mango y su aplicación en productos de panificación. Tesis. Instituto Politécnico Nacional
- Villanueva, R. (2014). El gluten del trigo y su rol en la industria de la panificación. Universidad de Lima. Lima, Perú.
- Williams, M.H. (2002). Nutrición para la salud, la condición y el deporte. España, Paidotribo.
- Wolever et al. Técnica para determinación del IG.
- Zambrano, M. Meléndez, R. Gallardo, Y. (2001) Propiedades funcionales y metodología para su evaluación en fibra dietética. Brasil: Varela

Anexo1. Textura

Método

Hipótesis nula Todas las medias son iguales
Hipótesis alterna Por lo menos una media es diferente
Nivel de significancia α = 0.05

Se presupuso igualdad de varianzas para el análisis.

Información del factor

Factor	Niveles	Valores
Factor	5	Control, Formula 1, Formula 2, Formula 3, Formula 4

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Factor	4	2.0860	0.52150	6.18	0.009
Error	10	0.8443	0.08443		
Total	14	2.9303			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.290567	71.19%	59.66%	35.17%

Figura 1.1 Análisis de varianza para el parámetro firmeza

Agrupar información utilizando el método de Tukey y una confianza de 95%

Factor	N	Media	Agrupación
Formula 4	3	3.670	A
Formula 1	3	3.595	A
Control	3	3.406	A B
Formula 3	3	3.0888	A B
Formula 2	3	2.654	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Figura 1.2 Comparación de medias Tukey del parámetro firmeza

One-way ANOVA: Control, T 1, T 2, T3, T 4

```
Method

Null hypothesis         All means are equal
Alternative hypothesis  At least one mean is different
Significance level      α = 0.05

Equal variances were assumed for the analysis.


Factor Information

Factor  Levels  Values
Factor       5  Control, T 1, T 2, T3, T 4


Analysis of Variance

Source  DF  Adj SS  Adj MS  F-Value  P-Value
Factor   4   2.532  0.6331     3.79    0.040
Error   10   1.669  0.1669
Total   14   4.201


Model Summary

       S    R-sq  R-sq(adj)  R-sq(pred)
0.408478  60.28%     44.39%      10.63%
```

Figura 1.3 Análisis de varianza para el parámetro fracturabilidad

Anexo 2. Color

One-way ANOVA: Control, T1, T2, T3, T4

```
Method

Null hypothesis         All means are equal
Alternative hypothesis  At least one mean is different
Significance level      α = 0.05

Equal variances were assumed for the analysis.


Factor Information

Factor  Levels  Values
Factor       5  Control, T1, T2, T3, T4


Analysis of Variance

Source  DF  Adj SS  Adj MS  F-Value  P-Value
Factor   4  370.47  92.617    70.12    0.000
Error   10   13.21   1.321
Total   14  383.68


Model Summary

      S    R-sq  R-sq(adj)  R-sq(pred)
1.14928  96.56%     95.18%      92.25%
```

Figura 2.1 Análisis de varianza de color

```
Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Factor   N    Mean  Grouping
Control  3   54.30  A
T1       3  46.317     B
T2       3  42.993      C
T4       3  41.307      C
T3       3  40.800      C

Means that do not share a letter are significantly different.
```

Figura 2.2 Comparación de medias Tukey L*

One-way ANOVA: Control, T1, T2, T3, T4

```
Method

Null hypothesis         All means are equal
Alternative hypothesis  At least one mean is different
Significance level      α = 0.05

Equal variances were assumed for the analysis.


Factor Information

Factor  Levels  Values
Factor       5  Control, T1, T2, T3, T4


Analysis of Variance

Source  DF  Adj SS  Adj MS  F-Value  P-Value
Factor   4  15.622  3.9054     4.92    0.019
Error   10   7.934  0.7934
Total   14  23.555


Model Summary

       S    R-sq  R-sq(adj)  R-sq(pred)
0.890715  66.32%     52.85%      24.22%
```

Figura 2.3 Análisis de varianza del parámetro a*

```
Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Factor   N    Mean  Grouping
T3       3   7.753  A
T4       3   7.367  A
T2       3  6.9600  A B
T1       3   6.080  A B
Control  3   4.900    B

Means that do not share a letter are significantly different.
```

Figura 2.4 Comparación de medias Tukey de parámetro a*

One-way ANOVA: Control, T1, T2, T3, T4

```
Method

Null hypothesis         All means are equal
Alternative hypothesis  At least one mean is different
Significance level      α = 0.05

Equal variances were assumed for the analysis.


Factor Information

Factor  Levels  Values
Factor       5  Control, T1, T2, T3, T4


Analysis of Variance

Source  DF  Adj SS  Adj MS  F-Value  P-Value
Factor   4  35.156  8.7889    31.30    0.000
Error   10   2.808  0.2808
Total   14  37.964


Model Summary

       S    R-sq  R-sq(adj)  R-sq(pred)
0.529906  92.60%     89.64%      83.36%
```

Figura 2.5 Análisis de varianza del parámetro *b

```
Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Factor   N     Mean  Grouping
Control  3   23.187  A
T1       3   21.047     B
T3       3   19.407        C
T4       3   19.290        C
T2       3  19.2500        C

Means that do not share a letter are significantly different.
```

Figura 2.6 Comparación de medias Tukey del parámetro firmeza

One-way ANOVA: T1, T2, T3, T4

```
Method

Null hypothesis         All means are equal
Alternative hypothesis  At least one mean is different
Significance level      α = 0.05

Equal variances were assumed for the analysis.


Factor Information

Factor  Levels  Values
Factor       4  T1, T2, T3, T4


Analysis of Variance

Source  DF  Adj SS   Adj MS  F-Value  P-Value
Factor   3  64.100  21.3666    25.67    0.000
Error    8   6.658   0.8322
Total   11  70.757


Model Summary

       S    R-sq  R-sq(adj)  R-sq(pred)
0.912248  90.59%     87.06%      78.83%


Means

Factor  N    Mean  StDev        95% CI
T1      3   8.410  1.216  ( 7.196,  9.625)
T2      3  12.153  0.626  (10.938, 13.367)
T3      3  14.313  0.770  (13.099, 15.528)
T4      3  13.794  0.930  (12.579, 15.008)

Pooled StDev = 0.912248
```

Figura 2.7 Análisis de varianza para ΔE

```
Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Factor  N    Mean  Grouping
T3      3  14.313  A
T4      3  13.794  A
T2      3  12.153  A
T1      3   8.410    B
Means that do not share a letter are significantly different.
```

Figura 2.8 Comparación de medias Tukey para ΔE

Anexo 3. Evaluación sensorial

One-way ANOVA: Control, Tratamiento 3, Tratamiento 2

```
Method

Null hypothesis         All means are equal
Alternative hypothesis  At least one mean is different
Significance level      α = 0.05

Equal variances were assumed for the analysis.


Factor Information

Factor  Levels  Values
Factor       3  Control, Tratamiento 3, Tratamiento 2


Analysis of Variance

Source   DF  Adj SS  Adj MS  F-Value  P-Value
Factor    2   197.7  98.866    18.78    0.000
Error   147   773.9   5.264
Total   149   971.6


Model Summary

      S    R-sq  R-sq(adj)  R-sq(pred)
2.29442  20.35%     19.27%      17.07%
```

Figura 3.1 Análisis de varianza

```
Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Factor          N   Mean  Grouping
Control        50  8.103  A
Tratamiento 2  50  6.194    B
Tratamiento 3  50  5.360    B

Means that do not share a letter are significantly different.
```

Figura 3.2 Comparación de medias Tukey