



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE QUÍMICA

Programa de Posgrado en Alimentos del Centro de la República.
(PROPAC)

Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos

“Optimización de la formulación de una barra nutritiva
mezcla de frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*) y
avena (*Avena sativa*)”

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de:

Maestro en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Presenta:

IBQ. Bertha Isela Gómez Palomares.

Dirigido por:

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña

CU, Santiago de Querétaro, Qro. Noviembre, 2012.



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Química
Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos

TESIS

“Optimización de la formulación de una barra nutritiva mezcla de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) y avena (*Avena sativa*)”

Que como parte de los requisitos para obtener el grado de:

Maestro en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Presenta:

IBQ. Bertha Isela Gómez Palomares

Dirigido por:

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña

SINODALES

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña
Presidente

Dra. Silvia Lorena Amaya Llano
Secretario

Dra. Clara Escamilla Santana
Vocal

Dra. Sandra O. Mendoza Díaz
Suplente

Dr. Eduardo Castaño Tostado
Suplente


M.S.P. Sergio Pacheco Hernández
Director de la Facultad de Química

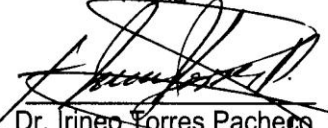

Firma


Firma


Firma


Firma


Firma


Dr. Irineo Torres Pacheco
Director de Investigación y Posgrado

RESUMEN

La incidencia de enfermedades crónico degenerativas se ha incrementado en México, como obesidad, diabetes, problemas cardiovasculares y cáncer. Entre los factores que favorecen este tipo de patologías se puede destacar la dieta, aumentando el consumo de alimentos industrializados, situación atribuible al acelerado ritmo de vida que la sociedad sufre actualmente e incorporación de la mujer al mundo laboral. Estos cambios impulsan el desarrollo de productos para satisfacer necesidades específicas del consumidor. Por otro lado, la ingesta de alimentos tradicionales en México ha ido en decremento, como el del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), el cuál ha sido ampliamente estudiado por su potencial nutracéutico, atribuido al contenido de compuestos bioactivos como: fibra dietética, compuestos fenólicos, biopéptidos; todos relacionados con la prevención de enfermedades crónico degenerativas. La avena (*Avena sativa*) es una buena fuente de nutracéuticos, cuyo compuesto bioactivo más importante es la fibra dietética, principalmente los β -glucanos, por lo que el objetivo de este trabajo fue optimizar la formulación de una barra nutritiva mezcla de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) y avena (*Avena sativa*), buscando incrementar su vida de anaquel y posicionarse en el gusto del consumidor. De acuerdo a los resultados de dos grupos de enfoque, se reformuló la barra nutritiva de frijol-avena siendo evaluada en cuanto a atributos de sabor y textura, mediante una prueba “justo en lo correcto”, se evaluaron dos sabores (base y chorizo), la barra optimizada consta de un 30.6% de harina de frijol y 23.6 % de harina de avena, la cual presenta un contenido nutricional superior que productos comerciales, mayor contenido de proteína ($19.25 \% \pm 0.25$) y menor porcentaje de lípidos (10.07 ± 0.23). El contenido de compuestos fenólicos que la barra presenta 12.46 ± 0.42 mg eq. (+)-Catequina/g y 0.084 ± 0.01 μ g eq. rutina/g, el valor promedio de fibra dietética total es 30.38 ± 0.41 % y 1.75 ± 0.03 % de almidón resistente. Además de mostrar un buen contenido nutrimental y nutracéutico, obtuvo una buena aceptación por el consumidor, evaluado mediante una prueba hedónica de 7 puntos a un total de 120 consumidores.

(Palabras clave: frijol común, avena, barra nutritiva, compuestos bioactivos)

ABSTRACT

The incidence of chronic degenerative diseases, such as obesity, diabetes, cardiovascular problems, and cancer has increased, during the last years in Mexico. Among the factors that trigger this kind of pathologies, diet is highlighted, due to the increase in consumption of industrialized foods. This situation is attributable to the fast pace of life that society currently suffers and to the incorporation of women into the workplace. These changes generate the development of products that satisfy specific consumer's needs. On the other hand, traditional food intake in Mexico has decreased including common beans (*Phaseolus vulgaris L.*), which have been extensively studied for their nutraceutical potential, attributed to the content of bioactive compounds such as dietary fiber, phenolic compounds, and biopeptides. All of them related to the prevention of non-communicable diseases. Another highly nutritious food are oats (*Avena sativa*) where the most important bioactive compound is the dietary fiber, mainly β -glucans. The aim of this study was to optimize the elaboration of a nutritive bar mixture of common bean (*Phaseolus vulgaris L.*) and oats (*Avena sativa*) as well as to improve its shelf life and consumer's preference. According to the results on two focus groups, the nutritive bar was reformulated, flavor (base and chorizo) and texture attributes were evaluated by means of a "just-about-right" scale. The optimized bar has 30.6 % of common bean flour and 23.6 % of oats flour, which has a higher nutritional content than commercial snack, a higher protein content ($19.25 \% \pm 0.25$) and a lower percentage of lipids (10.07 ± 0.23). The bar showed values of phenolic compounds 12.46 ± 0.42 mg (+)-Catechin equivalent/g and 0.084 ± 0.01 μ g rutin equivalent /g, average value of total dietary fiber was 30.38 ± 0.41 % and 1.75 ± 0.03 % of resistant starch. Besides showing a good nutritional and nutraceutical content, it had a good consumer's acceptance, evaluated in a 7-point hedonic scale by 120 consumers.

(Key words: common beans, oats, nutritive bar, bioactive compounds)

DEDICATORIA

A mi familia por ser mi más grande inspiración y quienes me dan su amor incondicional. A mis Padres por ser mi guía y ejemplo a seguir, por enseñarme que la mejor forma de salir adelante es con responsabilidad y constancia.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico otorgado para la realización de mis estudios de maestría.

A la Universidad Autónoma de Querétaro y PROPAC que reúnen gente capaz que ha brindado el conocimiento para mi crecimiento profesional.

Especialmente a la Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña por la confianza y apoyo incondicional tanto académico como personal.

A los miembros de mi comité: Dra. Clara Escamilla por mostrarme el maravilloso mundo de la evaluación sensorial, Dr. Eduardo Castaño por siempre tener tiempo para resolver mis inquietudes de estadística, Dra. Silvia Amaya y Dra. Sandra Mendoza a todos ustedes por sus valiosos comentarios para la mejora de este trabajo.

A la Dra. Estela Vázquez y Dr. Edmundo Mercado Silva del Laboratorio de Fisiología y Bioquímica Poscosecha de Frutas y Hortalizas. Por todas las facilidades y el uso de sus instalaciones, la paciencia y el apoyo desinteresado hacia esta investigación.

A mis compañeros y amigos del PROPAC, así como al personal administrativo. Definitivamente esta experiencia no hubiera sido la misma sin ustedes.

A todas aquellas personas que me han permitido llegar hasta aquí... y brindarme el privilegio de que me llamen hija, hermana, sobrina, amiga, compañera. Porque siempre han confiado en mí, gracias por formar parte de mi vida y dejarme ser parte de la suya. A ti porque me dejas ser y querer ser una mejor persona... ¡GRACIAS!

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	I
ABSTRACT	li
DEDICATORIA	lii
AGRADECIMIENTOS	lv
ÍNDICE GENERAL	v
ÍNDICE DE FIGURAS	lx
ÍNDICE DE CUADROS	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. ANTECEDENTES	3
2.1 Botanas	3
2.1.1 Consumo de botanas en México	3
2.1.2 Botanas saludables en el mercado	4
2.1.3 Barras nutritivas	4
2.2 Dieta en la prevención de enfermedades crónico degenerativas	6
2.2.1 Generalidades	6
2.3 Frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	9
2.3.1 Generalidades	9
2.3.2 Consumo de frijol en México	9
2.3.3 Composición química	10
2.3.4 Contenido de compuestos bioactivos	12
2.3.4.1 Compuestos fenólicos	13
2.3.4.1.1 Flavonoides	14
2.3.4.1.2 Antocianinas	15
2.3.4.1.3 Taninos condensados	16
2.3.4.2 Fibra dietética	17
2.3.4.3 Almidón resistente	18
2.4 Avena (<i>Avena sativa</i>)	18
2.4.1 Generalidades	18
2.4.2 Composición química	19

2.4.3 Compuestos bioactivos	19
III. JUSTIFICACIÓN	22
IV. OBJETIVOS	23
4.1 Objetivo general	23
4.2 Objetivos específicos	23
V. MATERIALES Y MÉTODOS	24
5.1 Materiales	24
5.1.1 Materiales biológicos	24
5.1.2 Reactivos	24
5.2 Métodos	
5.2.1 Acondicionamiento de la materia prima	24
5.2.1.1 Harina de frijol	25
5.2.1.1.1 Cocción de frijol	25
5.2.1.1.2 Secado y molienda del frijol	26
5.2.2 Elaboración de la barra frijol-avena	26
5.2.2.1 Modificación de la formulación	27
5.2.2.1.1 Capacidad de Absorción de agua de la masa	28
5.2.2.2 Análisis de Textura	28
5.2.3 Evaluación sensorial	28
5.2.3.1 Grupos de enfoque	28
5.2.3.2 Prueba de ordenamiento	29
5.2.3.3 Prueba hedónica	35
5.2.4 Análisis proximal	37
5.2.4.1 Cuantificación de proteína	38
5.2.4.2 Cuantificación de lípidos	38
5.2.4.3 Cuantificación de cenizas	38
5.2.4.4 Cuantificación de humedad	39
5.2.4.5 Cuantificación de carbohidratos	39
5.2.5 Determinación de compuestos bioactivos	39
5.2.5.1 Fibra total	39
5.2.5.1.1 Fibra insoluble	40
5.2.5.1.2 Fibra soluble	40
5.2.5.1.3 Almidón resistente	40
5.2.5.2 Compuestos fenólicos	41

5.2.5.2.1 Extracto metanólico	41
5.2.5.2.2 Taninos condensados	41
5.2.5.2.3 Flavonoides	41
5.3 Digestibilidad <i>in vitro</i> de proteínas	42
5.4 Aporte calórico	42
5.5 Pruebas de estabilidad durante el almacenamiento	43
5.5.1 Isotherma de adsorción	43
5.5.2 Pruebas de vida acelerada	43
5.5.2.1 Índice de peróxidos	44
5.5.2.1.1 Extracción de la grasa	44
5.5.2.1.2 Determinación de índice de peróxidos	44
5.5.2.2 Medición del color.	45
5.5.2.3 Textura	45
5.5.2.4 Perfil sensorial del producto	45
5.5.2.4.1 Selección del panel	46
5.5.2.4.2 Entrenamiento del panel	46
5.6 Análisis estadístico	47
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.	48
6.1 Modificación de la formulación.	48
6.1.2 Capacidad de Absorción de agua.	49
6.1.3 Textura	50
6.1.4 Evaluación sensorial	56
6.1.4.1 Grupo de enfoque	56
6.1.4.2 Prueba de ordenamiento	62
6.1.4.3 Prueba de agrado	63
6.1.5 Concepto del producto	70
6.1.5.1 Definir el problema (Comprender)	71
6.1.5.2 Conocer al usuario (Observación)	74
6.1.5.3 Concluir alternativas (Sintetizar)	75
6.1.5.4 Elaborar prototipos (Bosquejar)	75
6.1.5.5 Evaluar y corregir (Iterar)	75
6.1.5.6 Implementar	76
6.2 Caracterización química de los ingredientes mayoritarios de la formulación	78

y del producto final.	
6.2.1 Análisis proximal	78
6.2.2 Digestibilidad <i>in vitro</i> de proteína.	79
6.3 Caracterización nutracéutica de los ingredientes mayoritarios de la formulación y del producto final.	80
6.3.1 Cuantificación de compuestos fenólicos	80
6.3.2 Fibra dietética y Almidón resistente	82
6.4 Aporte Calórico	84
6.5 Estabilidad en almacenamiento	84
6.5.1 Adición de un conservador	85
6.5.2 Pruebas de vida acelerada	86
6.5.2.1 Textura	86
6.5.2.2 Color	87
6.5.2.3 Determinación de índice de peróxidos	90
6.5.2.4 Perfil sensorial	92
6.5.2.4.1 Reclutamiento y entrenamiento del panel	92
6.5.2.4.2 Resultados de la evaluación sensorial	93
VII. CONCLUSIONES	98
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	99
IX. ANEXOS	106

ÍNDICE DE FIGURAS

1. Prueba hedónica realizada a 98 consumidores, donde 3 indica	6
2. Estructura química del flavan.	14
3. Estructura de las antocianinas más comunes.	15
4. Estructura química de los taninos condensados.	16
5. Estructura de los β -glucanos.	20
6. Estructura de neo-cetosas presentes en avena.	20
7. Estrategia general	25
8. Diagrama de flujo para elaboración de barra frijol-avena.	27
9. Formato de selección para el grupo de enfoque.	29
10. Encuesta realizada a los participantes en el grupo de enfoque.	30
11. Formato de evaluación del grupo de enfoque.	31
12. Factores de importancia en la formulación.	32
13. Formato de evaluación prueba de ordenamiento para la barra sabor chorizo.	34
14. Formato de evaluación prueba de ordenamiento para la barra sabor base.	35
15. Formato de evaluación prueba hedónica para la barra base.	36
16. Formato de evaluación prueba hedónica para la barra sabor Chorizo.	37
17. Crujencia medida como el número de picos principales en cada formulación	53
18. Textura de barras de frijol (<i>P. vulgaris L.</i>) y avena (<i>A. sativa</i>) obtenidos mediante la prueba de corte expresada como la fuerza en (Kg).	54
19. Crujencia medida como el número de picos en barras de frijol común (<i>P. vulgaris L.</i>) y avena (<i>A. sativa</i>) obtenidos mediante la prueba de corte.	55
20. Resultados escala JAR, para la barra base.	58
21. Resultados escala JAR, para la barra sabor hierbas finas.	58
22. Resultados escala JAR, para la barra sabor chorizo.	59
23. Resultados escala JAR, para la barra sabor queso.	59

24. Resultados escala JAR, para la barra sabor queso con chile.	60
25. Resultado de la prueba de ordenamiento de los grupos de enfoque.	61
26. Resultado de la prueba de ordenamiento del diseño factorial 2 ²	63
27. Resultado de la prueba de ordenamiento del diseño factorial 2 ³	64
28. Resultados de la prueba hedónica para sabor BASE B4.	66
29. Resultados de la prueba hedónica para la formulación BASE B3.	66
30. Resultados de la prueba hedónica para la formulación sabor CHORIZO C7	67
31. Resultados de la prueba hedónica para la formulación sabor CHORIZO C3	67
32. Resultados de la prueba hedónica “Agrado Global” para las formulaciones sabor BASE, B3 y B4	68
33. Resultados de la prueba hedónica “Agrado Global” para las formulaciones sabor CHORIZO, C3 y C7.	68
34. Preferencia del consumidor.	68
35. Etapas del Diseño Estratégico.	71
36. Mapa mental “Salud y Alimentos Nutraceuticos”	71
37. Descripción del consumidor.	74
38. Síntesis del mapa mental.	75
39. Mapa grupo de enfoque con consumidores	77
40. Digestibilidad de proteínas <i>in vitro</i> de las materias primas principales y el producto final.	80
41. Isotherma de adsorción para el producto final a una temperatura de 35°C.	86
42. Índice de peróxidos (45°C)	91
43. Índice de peróxidos (35°C)	91
44. Perfil sensorial de la vida de anaquel de la barra B4.	95
45. Perfil sensorial de la vida de anaquel de la barra C3.	96

ÍNDICE DE CUADROS

1. Composición química y perfil nutricional del frijol común.	11
2. Composición química de avena (<i>Avena sativa</i>).	19
3. Número de malla empleado para separar la harina de frijol común.	26
4. Sales empleadas para la isoterma de adsorción.	43
5. Modificaciones realizadas en la formulación de la	49
6. Capacidad de absorción de agua de la mezcla de ingredientes, usando diferentes tamaños de partícula y tres mezclas de harina de frijol común (<i>P. vulgaris L.</i>).	50
7. Parámetros de textura de barras de frijol (<i>P. vulgaris L.</i>) y avena (<i>A. sativa</i>) obtenidos mediante la prueba de corte.	51
8. Diseño Factorial 2 ² para la barra BASE.	62
9. Diseño Factorial 2 ³ para la Barra sabor Chorizo.	62
10. Composición proximal de frijol común crudo, harina de frijol (Bayo Madero) y harina de avena y barra base.	78
11. Contenido de flavonoides y taninos condensados de frijol crudo Bayo Madero, harina de frijol (Bayo Madero), harina de avena, barra base y barra sabor chorizo.	81
12. Contenido de fibra dietética total, soluble, insoluble y almidón resistente de frijol crudo Bayo Madero, harina de frijol (Bayo Madero), harina de avena, barra base y barra sabor chorizo.	82
13. Parámetros de textura de barras de frijol y avena, almacenadas en diferentes empaques y sin almacenar, obtenidos mediante la prueba de corte.	87
14. Efecto de la temperatura sobre el color de barras sabor base almacenadas a 35 °C.	88
15. Efecto de la temperatura sobre el color de barras sabor base almacenadas a 45 °C.	88
16. Efecto de temperatura sobre el color de barras sabor chorizo almacenadas a 35 °C.	89
17. Efecto de temperatura sobre el color de barras sabor chorizo almacenadas a 45 °C.	89
18. Descriptores empleados para el Perfil Sensorial del producto.	93

I. INTRODUCCIÓN.

En años recientes se ha incrementado en nuestro país la incidencia de enfermedades crónico degenerativas, como obesidad, diabetes, problemas cardiovasculares, cáncer. Entre los factores que las desencadenan se puede destacar la dieta de la población, la cual ha aumentado el consumo de alimentos procesados, situación que puede atribuirse a que se cuenta con menos tiempo para realizar las comidas, así como la incorporación de la mujer a la vida laboral; cambios que impulsan el desarrollo de productos destinados a satisfacer necesidades específicas del consumidor. Por otro lado la ingesta de alimentos tradicionales en nuestro país ha ido en decremento, tal es el caso del frijol común.

En estudios previos se desarrolló una barra de frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*) y avena (*Avena sativa*), con ayuda de dos grupos de enfoque con un total de 15 participantes, se identificaron los atributos esperados por el consumidor para la barra en cuanto a textura y sabor. Se utilizó un diseño de mezclas para obtener 27 formulaciones y éstas fueron evaluadas mediante una prueba de ordenamiento mediante un diseño de bloques incompletos (18 jueces semientrenados durante 5 sesiones). Las barras de mayor preferencia fueron las denominadas L30 y L48 conteniendo harina de frijol Bayo Madero y avena en una proporción 23.4% - 16.9% y 24.6% - 18.9%, respectivamente. El contenido de proteína ($12.41\% \pm 0.05$) y lípidos ($14.86\% \pm 0.18$) en L30 y L48 fue más alto y menor respectivamente, que una barra control de avena y una barra comercial. El valor promedio de fibra total fue $32.46\% \pm 0.19$. La concentración de rafinosa fue mayor en L30 (8.22 ± 0.35 mg/g), además presentó la mayor capacidad antioxidante (6.17 ± 0.21 eq. de trolox/g en el ensayo DPPH) y contenido de flavonoides totales (5.64 ± 0.51 mg eq. rutina/g). La textura de L30 fue más crujiente y menos dura que una barra comercial. Una prueba de agrado (escala hedónica de 9 puntos) mostró que una botana comercial obtuvo mayor preferencia que L30 y la barra control. La textura y atributos fueron clasificados “justo en lo correcto” solamente para la botana comercial. Los resultados sugirieron que la barra de frijol-avena tiene una composición nutricional superior a los productos comercializados en la actualidad; además el desarrollo de este tipo de alimentos

permite ofrecer productos que contribuyan significativamente en la nutrición y salud del consumidor, sin embargo las propiedades sensoriales y de vida de anaquel debieron optimizarse, para posicionarse en el mercado.

II. ANTECEDENTES.

2.1 Botanas.

De acuerdo a la definición de la Norma Oficial Mexicana (NOM-187-SSA1-SCFI-2002) “se denomina botana a los productos de pasta de harinas, de cereales, leguminosas, tubérculos o féculas; así como de granos, frutas, frutos, semillas o leguminosas con o sin cáscara o cutícula, tubérculos; productos nixtamalizados y piel de cerdo, que pueden estar fritos, horneados, explotados, cubiertos, extruidos o tostados; adicionados o no con sal y otros ingredientes opcionales y aditivos para alimentos”.

Mientras que la Industria de Botanas en México define a ésta como un producto que puede ser consumido a cualquier hora del día, y se percibe como tentempié o antojo. Se establece que son productos fáciles de manipular, constituidos en porciones individuales, no requieren preparación y satisfacen el apetito a corto plazo.

En una primera clasificación de botanas, según su sabor, se encuentran las saladas y las dulces. Dentro de las primeras están las papas fritas, semillas, palomitas y cacahuates. Las dulces son básicamente semillas, frutas y cereales, los cuáles últimamente han cobrado importancia para la elaboración de barras nutritivas (Industria de botanas en México, 2010).

2.1.1 Consumo de botana en México.

Las botanas en México al igual que en otros países del mundo son productos que cubren las necesidades de los consumidores, en cuanto a: accesibilidad, precio, buen sabor, amplia variedad de gustos y porciones, no es exclusivo de una clase social y está enfocada a todas las edades (Industria de botanas, 2010).

La Cámara Nacional de la Industria de Transformación señaló que en México la producción de botanas ha crecido de 234,726 toneladas para 2000 a 420,000 toneladas en 2008, estimándose que en la actualidad asciende a alrededor de 450,000 toneladas. Los productos a base de maíz y papa, son los productos de mayor demanda. El consumo *per cápita* de botanas en 2008 fue de 3.8 kg y se establece que en la actualidad es de 4 kg (Industria de botanas en México, 2010).

2.1.2 Botanas saludables en el mercado.

El mercado cuenta con una gran cantidad de productos que se hacen llamar saludables, sin embargo se ha considerado como una botana de mejor calidad aquella cuyo aporte energético es menor comparado con las demás marcas comerciales. Sin embargo, se están descuidando aspectos importantes como el contenido de proteína y otros nutrientes esenciales como vitaminas y minerales que permitirían incrementar la calidad de la botana (Iñarritu, 2001).

2.1.3 Barras nutritivas.

Las barras nutricionales son productos especialmente diseñados para contribuir a optimizar el rendimiento físico y proporcionar energía (Iñarritu, 2001).

En los últimos años se ha incrementado el consumo de las barras de cereal como alternativa para resolver alguna de las comidas del día. En el mercado existe un número considerable de opciones para el consumidor y éstas nacen como alternativa de consumo de cereales “listos para comer”.

Este tipo de cereales saludables entraron al mercado apoyados por las tendencias, hábitos de consumo de productos más sanos y nutritivos. Para incentivar el consumo de una gran variedad de cereales precocidos, surgen las barras diseñadas para niños incorporándolas en la dieta, especialmente a los desayunos escolares (Iñarritu, 2001).

Escobar *et al.* (1992) desarrollaron barras de cereales a las cuáles se les incorporó cotiledón de algarrobo con la finalidad de incrementar su contenido de proteína, teniendo gran aceptación en los grupos de consumidores.

Algunas leguminosas se han empleado en la elaboración de productos para incrementar la cantidad de fibra en el alimento, como es el caso de lentejas micronizadas, las cuáles fueron adicionadas a barras alimenticias, obteniendo un producto con mayor cantidad de fibra dietética (Ryland *et al.*, 2010).

Desde el punto de vista nutricional, las leguminosas tienen una elevada cantidad de proteínas, sin embargo éstas son deficientes en aminoácidos azufrados, pero muestran cantidades superiores en otros aminoácidos esenciales como lisina comparado con cereales (Duranti, 2006). Por lo que resulta importante elaborar alimentos que contengan una combinación de leguminosas y cereales.

Ramírez (2010) desarrolló la formulación de una barra de frijol-avena, a partir de dos variedades de frijol común (*P. vulgaris L.*) Negro 8025 y Bayo Madero, se utilizaron estas variedades debido a que contenían una mayor concentración de compuestos bioactivos (polifenoles y/o fibra dietética), se obtuvieron 54 formulaciones mediante un diseño de mezclas incluyendo algunos factores de proceso previamente determinados, la mitad correspondiente a cada una de las variedades propuestas, donde la harina de frijol fue añadida en un intervalo de 22.1% a 24.6%. Posteriormente fueron sometidas a una prueba de ordenamiento mediante un diseño de bloques incompletos, un panel de 18 jueces semientrenados determinó que las dos formulaciones de mayor preferencia fueron aquellas con un contenido de harina de frijol y avena de 24.4% - 16.9% (L48) y 24.6% - 18.9% (L30), respectivamente. El producto denominado L30 mostró buen contenido nutrimental, comparable con productos comercializados en el mercado mexicano. El contenido promedio de proteínas fue $12.54\% \pm 0.05$ y fibra total $32.46\% \pm 0.19$ siendo superiores a los valores obtenidos en la barra control (formulación sin la adición de harina de frijol), la cual mostró $10.09\% \pm 0.43$ y $12.72\% \pm 0.77$ respectivamente. Otra ventaja que presentó la barra de frijol-avena desarrollada fue que tiene 20% menor cantidad de grasa que una barra comercial,

además los parámetros tecnológicos evaluados exhibieron una mejor textura. Sin embargo en una prueba hedónica de 9 puntos, donde la escala va desde me gusta extremadamente hasta me disgusta extremadamente, la prueba fue realizada a 98 consumidores, se observó mayor preferencia por productos ya existentes, por lo tanto se concluyó que el aspecto sensorial debía mejorarse (Figura 1).

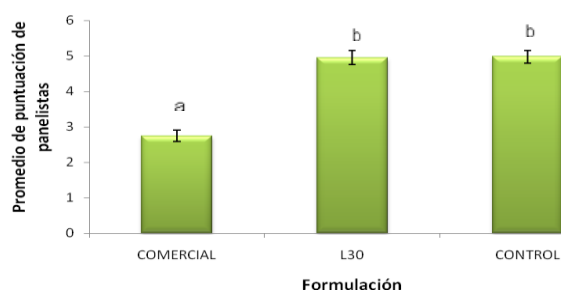


Figura 1. Prueba hedónica realizada a 98 consumidores, donde 3 indica “Me gusta moderadamente”, 5 “No me gusta, ni me disgusta”. (Ramírez, 2010)

2.2 Dieta en la prevención de enfermedades crónicas degenerativas.

2.2.1 Generalidades.

Los alimentos además de nutrirnos, ayudan a mantener un buen estado de salud y reducir el riesgo de padecer enfermedades, se ha estudiado el efecto de dietas ricas en consumo de alimentos de origen vegetal, debido a su alto contenido de fitoquímicos (Sirtori *et al.*, 2009).

Los fitoquímicos son compuestos que no se encuentran involucrados en la actividad normal del metabolismo, se encuentran presentes en numerosos alimentos, como leguminosas, cereales y frutas (Cummings *et al.*, 1996; Willet, 2002) y son denominados promotores de la salud, debido a que funcionan como auxiliares en la prevención de enfermedades (Liu, 2003).

A pesar de no ser nutrientes esenciales, los ácidos fenólicos y polifenoles han demostrado bioactividad con actividades antioxidantes, antiproliferativas, antiinflamatorias y detoxificantes (Bravo, 1998). Su consumo supone una

protección adicional contra la acción nociva de sustancias provenientes de la dieta y del entorno ambiental que afectan la salud de la población (Lutz y León, 2009).

Dichas sustancias muestran un efecto quimiopreventivo, debido a que son capaces de retardar o suprimir procesos dañinos como estrés oxidativo, así como lograr un efecto antimutagénico, hipoglucemiante, hipocolesterolémico, anticancerígeno (Slavin., 2004).

Las sociedades han experimentado un cambio sobre todo en la alimentación, donde el consumo de alimentos industrializados ha incrementado significativamente y nuestro país no ha sido la excepción (Rivera *et al.*, 2002; González-Castell *et al.*, 2007; Rodríguez-Morán *et al.*, 2009).

El consumo de frutas, verduras y alimentos de tradición culinaria por excelencia en nuestro país han sido sustituidos por azúcares refinadas, grasas, bebidas edulcoradas. Aunado a un decremento en las actividades físicas de la población y la oferta en el mercado de productos altamente energéticos, bajos en micronutrientes, de bajo costo para la población mexicana (Rivera *et al.*, 2002; Hernández *et al.*, 2003; Olaiz *et al.*, 2006).

De acuerdo a datos epidemiológicos, países en vías de desarrollo como México sufren un rápido incremento en la incidencia de enfermedades crónico degenerativo (Rivera *et al.*, 2002). Problemas como obesidad, enfermedades cardiovasculares y diabetes tipo 2, son los problemas actuales de salud pública más importantes en nuestro país (Olaiz *et al.*, 2006).

Estudios sugieren que hábitos adquiridos están relacionados con sobrepeso y obesidad. Flores *et al.* (2010), estudiaron una muestra representativa de individuos adultos mexicanos, donde se encontró que las principales fuentes de energía se pueden dividir en grupos: azúcares y alimentos refinados (RS), cocina tradicional (T) y diversos alimentos (D), identificando en el primer grupo que la mayor contribución era el alcohol (9.4 %), bebidas edulcoradas (9.4 %), pan (7.7 %), además de un consumo considerable de comida rápida, dulces y botanas. El

grupo D tuvo un mayor porcentaje de productos ricos en grasa, arroz, pasta, carne, frutas y vegetales. El patrón T fue caracterizado por una baja diversidad de alimentos consumo de maíz y subproductos de éste, los cuáles implican el 47 % de la energía consumida. Indicando que el consumo de frijol es del 4 %. Se realizó un ajuste por edad, género, actividad física, estatus socioeconómico, área geográfica, obteniendo como resultado que los patrones RS y D son asociados con el 14 - 17% de incrementar el riesgo de padecer sobrepeso y 20 % en riesgo de obesidad, comparativamente con el patrón T. Lo que sugiere y respalda la asociación de hábitos en la alimentación a padecer enfermedades como sobrepeso y obesidad (Flores *et al.*, 2010) así como otras enfermedades cardiovasculares (Rodríguez-Morán *et al.*, 2009).

González-Castell *et al.* (2007), estudiaron casos de niños mexicanos entre 1 y 4 años, demostrando que consumen una gran cantidad de alimentos procesados, los cuáles aportan un mayor contenido de carbohidratos, grasas saturadas principalmente con respecto a alimentos tradicionales en México.

Un estudio realizado en familias latinas demostró que el conocimiento de los padres para una dieta saludable, es una importante influencia sobre los hábitos alimenticios de los niños. Familias donde su mayor consumo era de alimentos de la cocina tradicional mexicana (principalmente frijol y maíz), mostraron mejor estado general de salud, además siendo éstos de bajo costo. Por lo que el estudio sugiere que retomar alimentos tradicionales de los países latinos puede ser traducido en beneficios en la salud (Evans *et al.*, 2011).

De acuerdo a la información antes mencionada uno de los más grandes desafíos que encara el México de hoy en materia de salud pública es la epidemia de la obesidad y por lo tanto resulta importante que el consumidor encuentre en el mercado opciones saludables, por lo tanto resulta importante ofrecer al consumidor productos que satisfagan esas necesidades.

Con el incremento en la preocupación de tener una dieta más saludable, los consumidores se han vuelto más conscientes con respecto a lo que comen. Existe

un aumento en la demanda de alimentos que contienen algún ingrediente que ofrezca beneficios potenciales a la salud (Jasayena y Nasar-Abbas, 2011), dentro de estos ingredientes encontramos algunas leguminosas de gran importancia como el frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*) y cereales como la avena (*Avena sativa*).

2.3 Frijol (*Phaseolus vulgaris L.*)

2.3.1 Generalidades.

Existe evidencia botánica, arqueológica, histórica y lingüística que sugiere que esta leguminosa es originaria de América. El frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*) ha formado parte de la alimentación de la población de México y otros países en América Latina. Además es una fuente de proteína, carbohidratos, vitaminas y minerales (Guzmán-Maldonado *et al.*, 2002).

2.3.2 Consumo de frijol en México.

México cuenta con un importante mercado para el frijol común, debido a su tradición culinaria; así como una gran diversidad de segmentos y nichos de mercado para diferentes tipos de frijoles (FIRA, 2001).

Tradicionalmente el frijol junto con el maíz, representan ingredientes fundamentales en la dieta básica de los estratos socioeconómicos bajos de las zonas urbanas y en las áreas rurales.

La respuesta del consumo de esta leguminosa presenta varias facetas, una de ellas puede ser debido a que la sociedad mexicana ha experimentado un fuerte cambio, durante los últimos 50 años ya que de ser un país rural, se ha ido transformando lentamente en un país urbano. Además, ante la apertura comercial, la velocidad de cambio es mucho más alta y las tendencias de los hábitos de consumo de nuestra sociedad tienden también a globalizarse pero con sus propias características culturales (FIRA, 2001).

En México, el consumo *per cápita* de frijol ha pasado de 22 kg a 12 kg en 2005 (SAGARPA, 2008). Esta tendencia negativa, es comprensible de acuerdo con las preferencias mundiales de consumo, que también están impactando a nuestro país, a pesar de ser un alimento arraigado a la cultura mexicana; existe poca promoción en su consumo.

Para revertir esta tendencia negativa es necesario desarrollar estrategias de mercado y el impulso de nuevos productos a base de frijol que se inserten a las nuevas tendencias y la demanda.

Debido al acelerado ritmo de vida se ha incrementado el consumo de productos convenientes, esta tendencia crea la oportunidad para desarrollar nuevos productos, un ejemplo de esto son los frijoles enlatados, liofilizados y otras presentaciones comerciales, los cuales ahorran tiempo y dinero al consumidor.

2.3.3 Composición química.

El frijol es un alimento muy nutritivo. Una porción de 100 g de esta leguminosa cocida puede aportar el 60% del requerimiento diario de fibra, 40% de hierro y 66% de ácido fólico, entre otros. En cuanto a la proporción de lípidos, éstos se encuentran entre el 1-3% lípidos dependiendo de la variedad. Predominan triglicéridos y pequeñas cantidades de ácidos grasos libres, esteroides y ésteres de esteroles. Además posee cantidades sustanciales de ácidos grasos insaturados y un elevado contenido de ácido linoleico y linolénico. Los cuales son esenciales para el hombre y son requeridos para el crecimiento, la estructura celular, las funciones de todos los tejidos y síntesis de prostaglandinas (Guzmán-Maldonado *et al.*, 1998).

El frijol crudo es buena fuente de vitaminas y la retención de nutrientes durante la cocción varía desde un 70.9% a 75.9% dependiendo de la vitamina. La composición química, así como los requerimientos diarios mínimos para adultos se pueden observar en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Composición química y perfil nutricional del frijol común.

Indicadores	Contenido	Requerimientos mínimos diarios (adultos)
COMPOSICIÓN QUÍMICA %		
Proteína	14-33	
Lípidos	1.5-6.2	
Carbohidratos	52-76	
Fibra total	14-19	
Insoluble	10.1-13.4	
Soluble	3.1-7.6	
Cenizas	2.9 – 4.5	
CALIDAD DE LA PROTEÍNA		
Digestibilidad (%)	52-75	
Relación de eficiencia proteínica	0.7-1.5	
AMINOÁCIDOS ESENCIALES		
(g/100 g de proteína)		
Fenilalanina + Tirosina	5.3 – 8.2	6.3
Isoleucina	2.8 – 5.8	2.8
Leucina	4.9 – 9.9	6.6
Lisina	6.4 – 7.6	5.8
Metionina + Cisteína	1.2 – 1.5	2.5
Treonina	4.4 – 7.0	3.4
Triptófano		1.1
Valina	4.5 – 6.7	3.5
VITAMINAS (mg/100 g)		
Tiamina (B1)	0.86 – 1.14	1.5
Riboflavina (B2)	0.14 – 0.27	2.2
Niacina (B3)	1.16 – 2.68	0.019
Piridoxina (B6)	0.34 – 0.64	2.0
Ácido Fólico	0.17 – 0.58	0.5
MINERALES (mg/100 g)		
Calcio	9 – 200	800 – 1000
Cobre	0.7 – 1.2	
Fósforo	460	800 – 1000
Hierro	3.8 – 7.6	15
Magnesio	200	300 – 400
Zinc	2.2 - 4.4	15
OTROS COMPONENTES		
Taninos (mg eq. cat/g) ^a	9.6 – 131.4	
Inhibidores de tripsina (UIT/mg) ^b	13 – 29	
Ácido fítico	0.6 – 2.7	

(Paredes-López *et al.*, 2006)

Se ha informado que la baja disponibilidad de cisteína en frijol de color cocido ha sido relacionada a su alto contenido de polifenoles, estos compuestos especialmente durante tratamientos térmicos pueden reaccionar con la proteína haciendo a este aminoácido biológicamente no disponible (Paredes-López, *et al* 2006). Por otra parte la lisina es el principal aminoácido deficiente en proteínas provenientes de plantas, el frijol destaca por su alto contenido de ésta, ya que satisface más del 500% de los requerimientos en adultos y 150% de niños según referencia de la ONU/FAO/WHO. Además la lisina es un factor importante en ciertas condiciones cardíacas (Guzmán-Maldonado y Paredes-López, 1998).

El frijol común posee compuestos antinutricionales donde se pueden incluir los oligosacáridos, taninos, inhibidores de tripsina, lectinas y ácido fítico, éstos son relacionados con la baja digestibilidad de la proteína y la reducción de la biodisponibilidad de los minerales, dichos compuestos cobran importancia debido a que en áreas rurales el consumo de esta leguminosa llega a ocupar hasta el 15% de la dieta (Guzmán-Maldonado y Paredes-López, 1998). Sin embargo algunos de estos compuestos antinutricios han sido relacionados con propiedades antioxidantes, antimutagénicas y anticarcinogénicas (Cardador-Martínez *et al.*, 2002a, 2002b; Aparicio-Fernández *et al.*, 2005; Oomah *et al.*, 2010).

2.3.4 Contenido de compuestos bioactivos.

Existe un creciente interés en las propiedades nutracéuticas del frijol común, ya que se ha comprobado que cuando su consumo es constante, éste ejerce un efecto positivo en el metabolismo (Champ., 2002; Madhujith *et al.*, 2004).

Reportes científicos señalan que el consumo de frijol puede contribuir a la buena salud y prevenir enfermedades crónico degenerativas como el cáncer y problemas del corazón, entre otros (Bawadi *et al.*, 2005; Ríos-Ugalde *et al.*, 2007). Estos efectos son atribuidos a varios fitoquímicos presentes en el frijol

principalmente asociado a compuestos fenólicos como las antocianinas, taninos y flavonoides (Cardador-Martínez *et al.* 2002a; 2002b; Madhujith, *et al.*, 2004).

El contenido de estos compuestos bioactivos puede variar de acuerdo a diferentes factores ambientales, variedad estudiada, tiempo de almacenamiento, entre otros (Bravo, 1998).

Los oligosacáridos y la fibra tienen otras funciones benéficas a la salud humana cuando éstas son fermentadas en el intestino grueso a ácidos grasos de cadena corta. Se demostró que el consumo de 40 gramos de frijol cocido al día puede prevenir la formación de tumores en el colon (Ríos-Ugalde *et al.*, 2007).

2.3.4.1 Compuestos fenólicos.

Constituyen un grupo de micronutrientes presentes en productos vegetales, son considerados metabolitos secundarios con diferentes estructuras químicas y diversas actividades, englobando más de 8,000 compuestos distintos (Martínez-Valverde *et al.*, 2000).

Químicamente son sustancias que poseen anillos aromáticos, con uno o más grupos hidroxilo incluyendo derivados funcionales (ésteres, metil ésteres, glicosídicos, etc) (Bravo, 1998).

Se ha demostrado la presencia de estos compuestos en cantidades mayores en la testa del frijol común (Madhujith *et al.*, 2004; Oomah *et al.*, 2005; Galvez-Ranilla *et al.*, 2007). Se les atribuye la capacidad de combatir la aterosclerosis y diversos tipos de cáncer, ya que se ha demostrado pueden inhibir el crecimiento de células cancerígenas y poseen actividad antimutagénica (Cardador-Martínez *et al.*, 2002a; Cardador-Martínez *et al.*, 2002b; Aparicio-Fernández *et al.*, 2005).

La actividad antioxidante es uno de los más importantes mecanismos de prevención o retraso del inicio de la mayoría de enfermedades crónico degenerativas incluyendo cáncer, enfermedades coronarias, entre otras. Se cree

que los antioxidantes ejercen su efecto bloqueando procesos oxidativos y radicales libres. Numerosos compuestos que demuestran esta capacidad son las catequinas, flavonoles, antocianinas y taninos. (Martínez-Valverde *et al.*, 2000). Dichos compuestos se encuentran presentes en el frijol común, mostrando una elevada capacidad antioxidante (Beninger y Hosfield, 2003; Xu *et al.*, 2007; Oomah *et al.*, 2010).

2.3.4.1.1 Flavonoides.

Los flavonoides son compuestos fenólicos constituyentes de la parte no energética de la dieta humana. Contienen en su estructura química un número variable de grupos hidroxilo fenólicos como se puede observar en la **Figura 1**Figura 2, los cuales provienen de la forma básica del flavan.

Estos compuestos poseen excelentes propiedades de quelación del hierro y otros metales de transición, lo que les confiere una gran capacidad antioxidante (Aherne y O'Brien, 2002).

Por ello, desempeñan un papel esencial en la protección frente a los fenómenos de daño oxidativo, y tienen efectos terapéuticos en un elevado número de patologías.

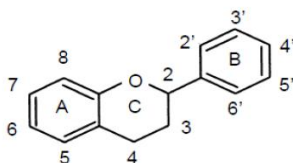


Figura 2. Estructura química del flavan.

(Grotewold, 2005)

Diversos autores han reportado que los flavonoides son los compuestos fenólicos que se encuentran en mayor proporción tanto en el frijol común (*P. vulgaris L.*) como en su cascarilla (Cardador-Martínez *et al.*, 2002a). Principalmente se han identificado ésteres sinápicos, ácido cafeico, ácido p-

cumárico y ferúlico (Luthria y Pastor-Corrales, 2006; Ross *et al.*, 2009), además se han identificado formas glicosídicas en la semilla de frijol común (Díaz-Batalla *et al.*, 2006).

2.3.4.1.2 Antocianinas.

Las antocianinas son compuestos que contribuyen a la coloración de la semilla de frijol común, especialmente en variedades oscuras (Beninger y Hosfield, 2003). Se ha reportado que tienen efecto antiproliferativo en la sobrevivencia de adenoma de colon, en especial la quercetina (Veeriah *et al.*, 2006). Se ha propuesto que actúan induciendo el arresto al ciclo celular y apoptosis en líneas celulares de cáncer de colon humano (Zhao, *et al.*, 2004).

La Figura 3 muestra la estructura química de las antocianinas más comunes.

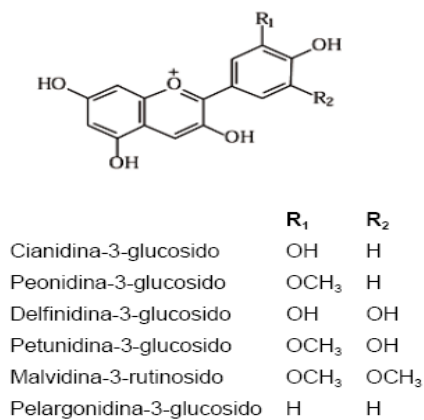


Figura 3. Estructura de las antocianinas más comunes.
(Pascual-Teresa *et al.*, 2010)

Aparicio-Fernández *et al.* (2005) reportaron el contenido de antocianinas en la cascarilla de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), evaluaron la capacidad antimutagénica de un extracto metanólico contra la mutación inducida por la aflatoxina AFB₁, mediante el ensayo de microsuspensión. Además reportaron que el almacenamiento y tratamiento térmico disminuyen la concentración de estos compuestos.

En un estudio realizado por Galvez-Ranilla *et al.* (2007), se detectaron niveles importantes de quercetina y antocianinas en la testa de frijol negro y rojo, obteniendo mayor concentración de formas glicosidadas de kamferol en variedades de color amarillo y café. Además de niveles importantes de quercetina se han encontrado petunidina y malvidina en el frijol negro (Beninger *et al.*, 2003; Lin *et al.*, 2008) y kaemferol en frijol de testa rosada (Lin *et al.*, 2008).

2.3.4.1.3 Taninos condensados.

Son compuestos fenólicos hidrosolubles con un peso molecular comprendido entre 500 y 3000 Daltons (D). Estos compuestos tienen una gran cantidad de grupos hidroxilo, entre otros grupos funcionales (1 a 2 por 100 D), capaces de unirse a proteínas y otras macromoléculas. Los taninos pueden clasificarse en dos grupos: taninos hidrolizables y no hidrolizables o taninos condensados.

Comprenden un grupo de oligómeros y polímeros del tipo polihidroxi-flavan-3-ol sintetizados a partir de la ruta de los flavonoides. La estructura general de los taninos condensados se muestra en la Figura 4.

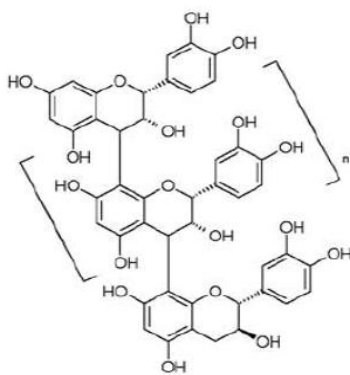


Figura 4. Estructura química de los taninos condensados.

(Dykes y Rooney, 2007)

Cardador-Martínez *et al.* (2002a) analizaron el efecto antimutagénico de los taninos condensados (EP) presentes en la cascarilla de frijol Flor de Mayo F-38, contra la aflatoxina B₁ (AFB₁), mediante un ensayo en microsuspensión con cepas de *Salmonella typhimorium* contra la mutagenicidad inducida por AFB₁. Los autores sugieren que el mecanismo de antimutagenicidad pudiera ser debido a una interacción directa y no enzimática de los compuestos fenólicos con el producto final mutagénico de esta toxina (AFB₁-8,9-epóxido), o la reducción de la biodisponibilidad de AFB₁, mediante la formación de un complejo PE- AFB₁.

2.3.4.2 Fibra dietética.

La fibra dietética también es un componente de importancia en el frijol. Numerosos beneficios en la salud han sido asociados al consumo adecuado de cantidades de fibra, la cual ayuda a disminuir los niveles de colesterol en sangre, reducir riesgos enfermedades del corazón, incrementar el volumen fecal, disminuir el tiempo de tránsito en el intestino, reducir el riesgo de cáncer de colon, además mejora la tolerancia a la glucosa (Bourdon *et al.*, 2001; Pereira *et al.*, 2004). El contenido de fibra dietaria en el frijol va en un rango del 14 al 19% en semillas crudas, la cocción ligera disminuye los niveles de fibra soluble e incrementa marcadamente el contenido de fibra insoluble (Osorio-Díaz, 2002; Paredes-López, 2006), reportando para frijol cocido un contenido de 26 - 27% (Queiroz-Monici *et al.*, 2005).

El concepto de fibra dietética incluye los constituyentes de los alimentos vegetales que no son digeridos por el intestino delgado, llegando intactos al intestino grueso donde pueden funcionar como sustrato fermentable de la microflora del colon (Saura-Calixto, 1988; Asp *et al.*, 1996). Surgiendo así el término de fracción no digerible (FNDF por sus siglas en inglés) (Saura-Calixto, 2004).

Vergara-Castañeda *et al.* (2010) evaluaron el efecto quimiopreventivo de la fermentación de la fracción no digerible de frijol común variedad Bayo Madero,

sobre la formación de fosas crípticas aberrantes en un modelo animal en ratas, las cuáles fueron inducidas con azoximetano (AOM).

Cruz-Bravo *et al.* (2011) reportaron que el extracto de fermentación *in vitro* de frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*) cocido variedad Negro 8025 inhibe la sobrevida de las células de adenocarcinoma de colon humano.

2.3.4.3 Almidón resistente.

Los principales constituyentes del frijol común son los carbohidratos, los cuáles comprenden el 55 – 65%, destacando la presencia de almidón y otros polisacáridos.

El almidón del frijol común tiene efecto análogo al de la fibra dietética ya que no es degradado por las enzimas digestivas del hombre, llega intacto al intestino grueso donde es fermentado y brinda sus beneficios al organismo. Además es conocido por su uso en la prevención de la diabetes, la obesidad y cáncer de colon (Asp *et al.*, 1996; Osorio-Díaz *et al.*, 2002).

El almidón resistente presente en el frijol común se incrementa después de someterse a un proceso térmico (Osorio-Díaz *et al.*, 2002).

2. 4 Avena (*Avena sativa*).

2.4.1 Generalidades.

En años recientes, la industria ha incrementado el interés por desarrollar alimentos que contengan ingredientes funcionales, es donde el interés por la avena se ha incrementado (Yao *et al.*, 2011), debido a sus propiedades benéficas a la salud, ya que su consumo ha sido fuertemente asociado a la disminución de colesterol principalmente lipoproteínas de baja densidad. El consumo de fibra dietaria proveniente de avena como ha demostrado tener efecto sobre la saciedad, y ayuda a mejorar el control del consumo de energía y consecuentemente disminuir el riesgo a padecer obesidad (Burton-Freeman 2000).

Desde 1997, la FDA (Food Drug Administration, por sus siglas en inglés) permite a los productos que contienen este ingrediente en su formulación, indiquen en la etiqueta que ofrece beneficios a la salud (FDA, 2003).

2.4.2 Composición química.

La composición de la avena se muestra en el Cuadro 2, donde se destaca la presencia de fibra dietética, principalmente β -glucanos.

Cuadro 2. Composición química de avena (*Avena sativa*).

Indicador	
COMPOSICIÓN QUÍMICA	%
Agua	13.3
Carbohidratos	52.8
Fibra	10.3
Proteínas	13
Lípidos	7.5
Cenizas	3.1
MINERALES (mg /100 g)	
Calcio	60
Fósforo	372
Hierro	3.8
Zinc	3.9
Yodo	16
VITAMINAS (mg/100 g)	
Tiamina	0.5
Riboflavina	0.14
Niacina	1.3

(Kirk y Sawyer, 1999)

2.4.3 Compuestos bioactivos.

Los β -glucanos son los principales componentes de la fibra de algunos cereales como la avena, son polisacáridos del tipo no amiláceo lineal compuestos por moléculas de glucosa unidas por enlaces beta (1-4) y cada 2 ó 3 unidades por enlaces sencillos beta (1-3). La Figura 5. Estructura de los β -glucanos. muestra la estructura de los β -glucanos.

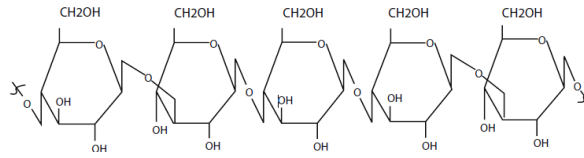


Figura 5. Estructura de los β -glucanos.

(Sadiq *et al.*, 2008).

Los enlaces beta no pueden ser hidrolizados por los sistemas enzimáticos intestinales de individuos monogástricos, por lo que estos polímeros se denominan hidratos de carbono no digeribles y forman parte de la fibra dietética. Otro aspecto importante de los β -glucanos son las numerosas uniones beta (1-3) que producen irregularidades en su estructura haciendo que el polímero sea flexible y son las que contribuyen a su alta solubilidad en agua y sobre todo a su gran viscosidad.

Los β -glucanos proveen alta viscosidad, propiedad que no es compartida con otras fibras solubles, es en gran medida la responsable de su efecto sobre el metabolismo de lípidos y carbohidratos. La evidencia científica indica que 5-10 g/día de fibra viscosa (β -glucanos) puede reducir colesterol LDL en un 5% (Brown *et al.*, 1999).

Otros componentes bioactivos de gran interés en este cereal son los fructooligosacáridos también conocidos como fructanos, los cuáles son polímeros de fructosa de tamaño variable. Los fructanos basados en neo-cetosos con enlaces β -2,6 son los únicos presentes en la avena, cuya estructura se muestra en la Figura 6.

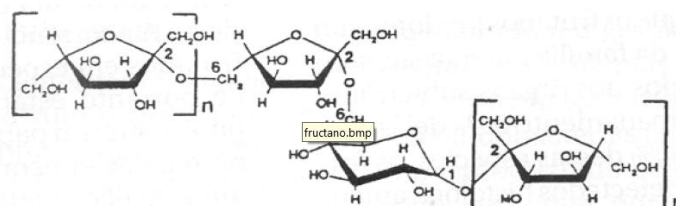


Figura 6. Estructura de neo-cetosos presentes en avena.

(Carvalho y Figueiro-Ribeiro, 2001)

Los fructanos son capaces de resistir la acción de enzimas digestivas de individuos monogástricos, llegar hasta el colon donde tienen un efecto prebiótico y estimulan el crecimiento de la microflora y mediante su fermentación producir ácidos grasos de cadena corta (Gibson *et al.*, 2004). Así como también se sugiere tienen efecto hipocolesterolémico y antihipertensivo (Yamasaki y Matsumoko, 1993).

La avena (*Avena sativa*) contiene pequeñas cantidades de ácidos fenólicos libres, incluyendo cafeico, p-cumárico, ferúlico, p-hidroxibenzoico, p-hidroxifenilacético, sinapico, vainillico, así como flavonoides apigenina, kamferol, luteolina, quercetina y tricita (Peterson, 2001).

Las avenantramidas son compuestos antioxidantes (Peterson, 2001) y solamente se han encontrado presentes en avena. Estudios recientes sugieren una alta biodisponibilidad de este compuesto (Chen *et al.*, 2007).

III. JUSTIFICACIÓN.

El ritmo de vida, así como las actividades actuales que desempeña la población; han reducido de manera considerable el tiempo dedicado para el consumo y preparación de alimentos, orillando a la ingesta de alimentos procesados, los cuáles desafortunadamente han incrementado la incidencia de enfermedades como la obesidad, diabetes, hipercolesterolemia, cáncer, entre otras. Es por ello que la optimización la formulación de una barra nutritiva a base de frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*) y avena (*Avena sativa*), y que ésta a su vez sea de fácil acceso, agradable al consumidor, con mayor contenido nutritivo y potencial nutracéutico. Lo que permitirá incrementar el consumo de esta leguminosa y ofrecer una alternativa de botana novedosa.

IV. OBJETIVOS.

4.1 Objetivo general.

Optimizar la formulación de una barra nutritiva mezcla de frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*) y avena (*Avena sativa*)”.

4.2 Objetivos específicos.

4.2.1 Optimizar la formulación de la barra nutritiva de acuerdo a los atributos sensoriales y que ésta a su vez sea atractiva para diferentes grupos de la población.

4.2.2 Caracterizar nutricionalmente y evaluar el potencial nutracéutico de la barra nutritiva y los ingredientes mayoritarios.

4.2.3 Evaluar la digestibilidad de proteína *in vitro*.

4.2.4 Evaluar la estabilidad del producto, mediante la adición de un conservador, sin modificar los atributos sensoriales.

4.2.5 Valorar la vida de anaquel de la barra nutritiva en diferentes empaques y condiciones.

V. MATERIALES Y MÉTODOS.

5.1 Materiales.

5.1.1 Materia Prima.

La variedad de frijol (*Phaseolus vulgaris L.*) utilizada fue Bayo Madero, proveniente del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), campo experimental del Bajío. Cosecha 2011.

Avena (*Avena sativa*) se adquirió de una marca comercial, en presentación de hojuelas.

5.1.2 Reactivos.

La α -amilasa, proteasa, amiloglucosidasa, tripsina, quimiotripsina, peptidasa, (+)-catequina, rutina, vainillina, fueron adquiridos de la marca Sigma Chemical Co. Acetona, almidón para yodometría, ácido acético, cloroformo, etanol, ácido clorhídrico, hidróxido de sodio, éter de petróleo, ácido sulfúrico, fosfato dibásico de sodio anhidro, acetato de sodio, carbonato de sodio, hidróxido de sodio, hidróxido de potasio, fosfato monobásico de sodio monohidratado, metanol, rojo de metilo, sulfato ferroso, yoduro de potasio, fueron adquiridos de la marca J.T. Baker. Kit Glucosa oxidasa-peroxidasa (GOD/POD), fue adquirido de la marca ELITech Clinical Systems.

5.2 Métodos.

La estrategia experimental se muestra en la Figura 7.

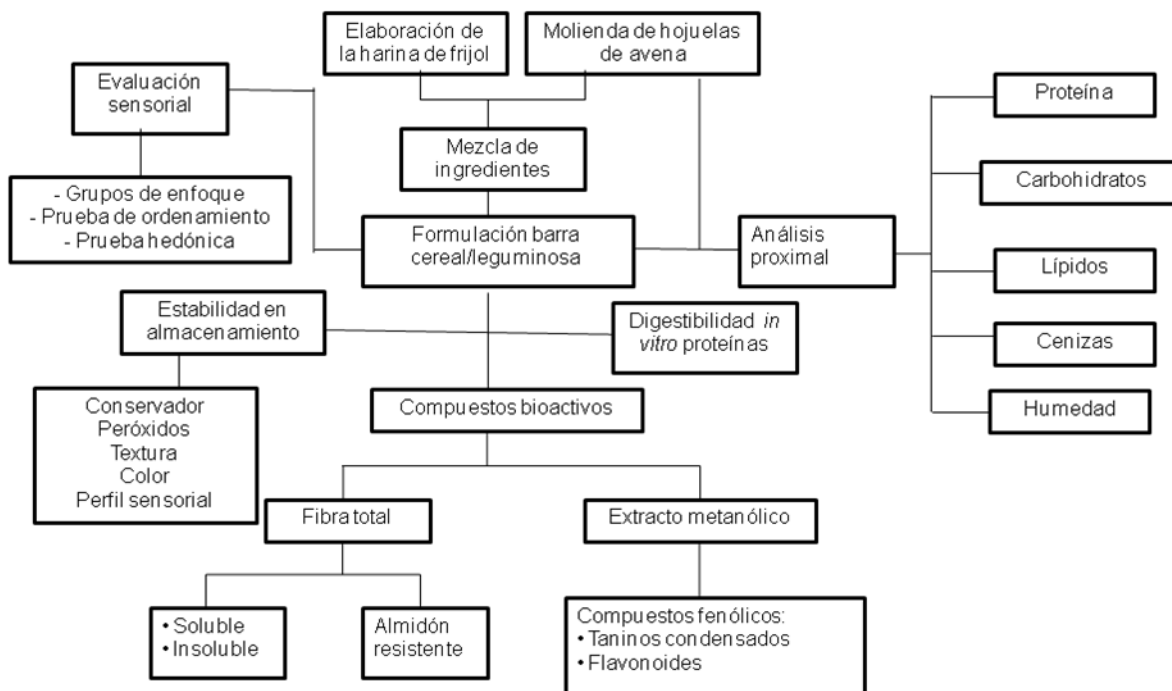


Figura 7. Estrategia general

5.2.1 Acondicionamiento de materia prima

5.2.1.1 Harina de frijol

5.1.1.1.1 Cocción de frijol

La metodología seguida fue la descrita por Aparicio-Fernández *et al.*, (2005). Brevemente, primero se limpió el frijol y se pesaron 500 g, se agregaron 2.5 L de agua destilada, posteriormente se cocieron durante 2.5 horas a 95°C, transcurrido este tiempo se tomaron 500 g (incluyendo agua de cocción) y se dejaron enfriar hasta temperatura ambiente. Se congelaron a -70°C por 24 horas. Después se liofilizó, molió y tamizó, la muestra fue almacenada a 4°C.

La parte de la muestra separada fue utilizada para realizar los estudios bromatológicos a la materia prima y el resto fue utilizado para la elaboración de la barra, siguiendo el proceso indicado a continuación.

5.2.1.1.2 Secado y molienda del frijol.

Una vez cocido el frijol junto con el caldo de cocción, se secaron para la elaboración de la harina, esto se realizó colocando la muestra en charolas de aluminio (procurando un espesor no mayor a 2 cm), después se colocó dentro de un horno por convección durante 12 horas a 60°C, finalmente se molió y tamizó la muestra. Se debe almacenar a 4°C protegiéndola de la luz. En el Cuadro 3 se especifican los diferentes tamaños de partícula utilizados.

Cuadro 3. Número de malla empleado para separar la harina de frijol común.

Malla	Diámetro (mm)
40	0.42
30	0.59
24	0.71
20	0.84

5.2.2 Elaboración de la barra frijol-avena

La elaboración del producto se llevó a cabo siguiendo el proceso diseñado por Escobar *et al.*, 1992 y adaptado por Ramírez, 2010 (Figura 8).

La barra fue preparada de acuerdo a la formulación desarrollada por Ramírez (2010). La reformulación se llevó a cabo de acuerdo a los resultados de la evaluación sensorial llevada para la muestra L-30.

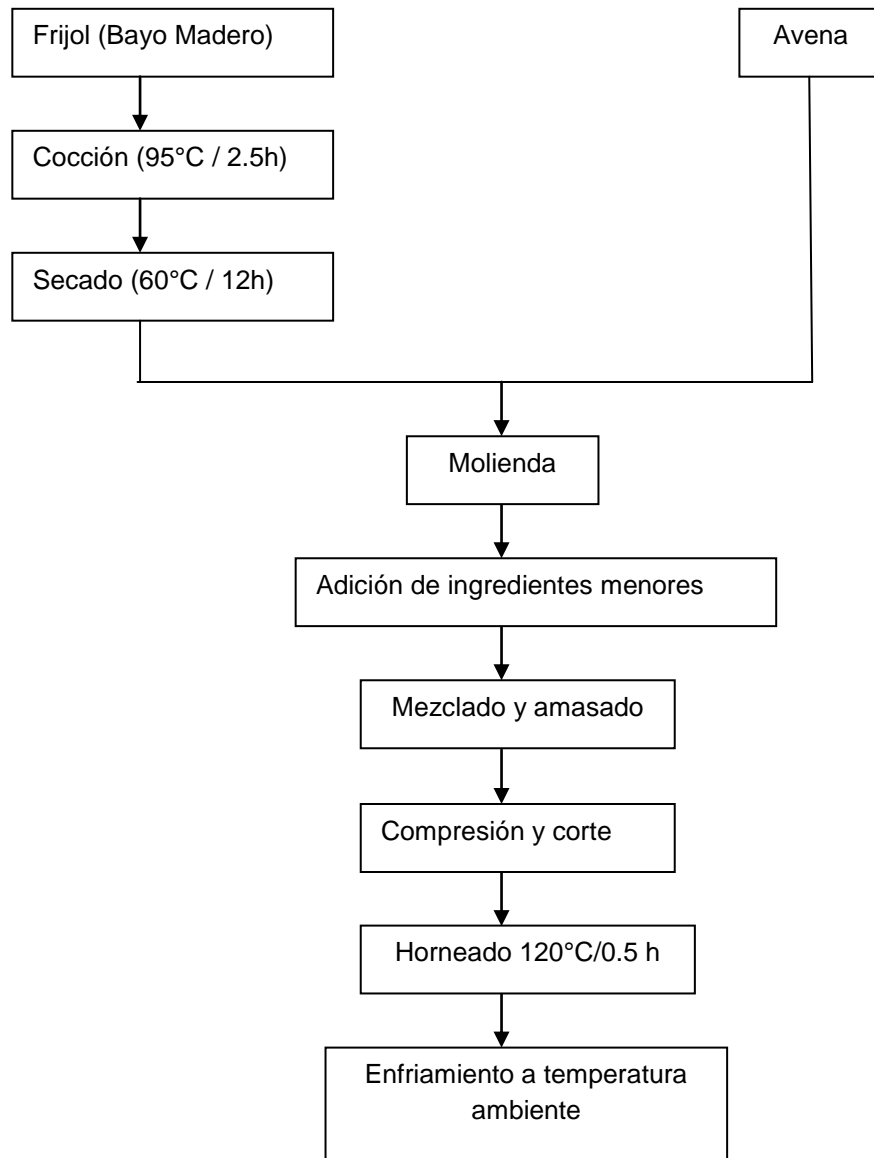


Figura 8. Diagrama de flujo para elaboración de barra frijol-avena.

5.2.2.1 Modificación de la formulación.

Para realizar cambios en el producto, se tomaron en consideración los resultados de la evaluación sensorial de la barra de frijol y avena realizada por Ramírez (2010), donde se pudo observar que los aspectos que debían ser mejorados eran dureza, crujencia, contenido de condimento y sal.

5.2.2.1.1 Capacidad de Absorción de agua de la masa.

La reformulación del producto, cambió la proporción de los ingredientes secos y emulsificantes, por lo que para saber la cantidad de agua a adicionar se realizó la prueba de capacidad de absorción de agua, de acuerdo a lo establecido por Arámbula *et al.*, (1999). Consiste en mezclar los ingredientes secos, y posteriormente se agregó el agua lentamente hasta que la masa tuviera una consistencia maleable y no quebradiza, calculando la cantidad de agua adicionada.

5.2.2.1.2 Análisis de textura.

La prueba de corte permitió conocer la fuerza requerida para la penetración de los dientes (penetración planar) en la muestra. Se realizó de acuerdo a las técnicas sugeridas por Kim (2004), se utilizó un analizador de textura TA-HD (Stable Micro Systems XT-RA) con una celda de carga de 10 Kg y una velocidad de 1.67 mm/seg, una cuchilla de 7.014 cm de largo y 0.0415 cm de bisel. La muestra fue colocada sobre una base metálica con una ranura en el centro, lo que permitía que la cuchilla atravesara por completo la muestra, la cual tenía una dimensión de 7 cm x 4 cm x 0.4 cm. Se graficó la curva fuerza-deformación para obtener la fuerza de ruptura (Kg), el área bajo la curva del pico de fractura (Kg-m) y la pendiente o gradiente de deformación (Kg/m) y la distancia de ruptura.

5.2.3 Evaluación sensorial.

Para realizar la evaluación sensorial se llevaron a cabo diversas etapas.

5.2.3.1 Grupos de enfoque.

Los grupos de enfoque son de gran utilidad en la investigación exploratoria, ya que sirven de guía para llegar al perfil de este tipo de productos y que es buscado por el consumidor.

Se eligieron individuos que tuvieran entre 18 y 35 años de edad, así como que fueran consumidores de botanas saladas con una frecuencia de consumo de por lo menos una vez a la semana. Se aplicó la encuesta mostrada en la Figura 9 para el proceso de selección de los individuos.

Encuesta de selección para asistentes a grupo de enfoque

Buenos días, somos estudiantes de la Universidad Autónoma de Querétaro y estamos realizando un estudio sobre las preferencias de consumo de botanas dulces y saladas en la ciudad de Querétaro. Agradeceríamos si tomara unos minutos de su tiempo para contestar estas preguntas.

Edad: _____ Sexo: F ____ M ____

1.- ¿Consume algún tipo de botana? Sí _____ No _____

2.- ¿Cuales de los siguientes productos consume?

Cacahuates (salados,japoneses,enchilados) _____

Barras (All-Bran, Kellog's) _____

Galletas (saladas) _____

Papas _____ Otros _____

3.- Marque con una cruz cual es la frecuencia de consumo

Diariamente _____ 1-2 veces por semana _____ menos de 1 vez por semana _____

4. Presenta alguna intolerancia a alimentos o productos altos en fibra.

5.- ¿Participaría en una sesión posterior para profundizar en un estudio sobre botanas?

Sí _____ No _____

6.- Si participa en nuestra sesión, ¿qué días de la semana y horarios podría hacerlo?

7. Datos de contacto:

Figura 9. Formato de selección para el grupo de enfoque.

Se realizaron 3 sesiones con grupos de enfoque, en las cuáles se discutieron temas relacionados al consumo de botanas saladas, además de contestar la encuesta mostrada en la Figura 10. Los individuos que formaron parte de estos grupos tuvieron la oportunidad de probar el producto y emitir comentarios al respecto. Cabe destacar que para recabar mayor información se llevó a cabo una evaluación hedónica mediante una escala justo en lo correcto también conocida como “JAR” (por sus siglas en inglés), la cual consta de 5 puntos, donde el nivel central, indica las características que busca el consumidor en un producto (Figura 11). Se contó con una asistencia de 46 personas.

GRUPO DE ENFOQUE BARRAS DE FRIJOL-AVENA	
Nombre: _____	Edad: _____
Apreciamos su participación y opinión sobre este producto. Esta reunión tendrá una duración de 30 a 40 min. Los temas a tratar en esta sesión se describen a continuación:	
CUESTIONARIO	
1. ¿A qué hora del día acostumbra consumir botanas saladas?	
2. ¿Qué tipo de botana salada prefiere?	
Cacahuates/Pistaches/Garbanza _____	
Papas/Frituras _____	
Galletas saladas/Palitos de pan/Twistos _____	
3. Ventajas por las cuáles, usted compra una botana.	
Ahorro de tiempo _____ Ahorro en costo _____	
Facilidad de transporte _____ Otros (especifique) _____	
4. Al escoger este tipo de productos, ¿Cuál es la característica que valora más a la hora de comprarlos?	
Precio _____ Presentación / Empaque _____ Beneficios a la salud (ej. fibra) _____	
Facilidad de consumo _____ Otros (especifique) _____	
5. ¿Qué beneficios adicionales buscaría en una botana?	
AGRADECEMOS SU COLABORACIÓN	

Figura 10. Encuesta realizada a los participantes en el grupo de enfoque.

Edad: _____ Sexo: () F () M

MUESTRA #: _____

Indicaciones: Pruebe las muestras en el orden que están en el plato y evalúe lo siguiente.

Sal

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mucho menos de lo que me gusta	Menos de lo que me gusta	Justo lo que me gusta	Mas de lo que me gusta	Mucho más de lo que me gusta

Condimento

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mucho menos de lo que me gusta	Menos de lo que me gusta	Justo lo que me gusta	Mas de lo que me gusta	Mucho más de lo que me gusta

Intensidad de sabor

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mucho menos de lo que me gusta	Menos de lo que me gusta	Justo lo que me gusta	Mas de lo que me gusta	Mucho más de lo que me gusta

Sabor a frijol

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mucho menos de lo que me gusta	Menos de lo que me gusta	Justo lo que me gusta	Mas de lo que me gusta	Mucho más de lo que me gusta

Dureza

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mucho menos de lo que me gusta	Menos de lo que me gusta	Justo lo que me gusta	Mas de lo que me gusta	Mucho más de lo que me gusta

Crujencia

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mucho menos de lo que me gusta	Menos de lo que me gusta	Justo lo que me gusta	Mas de lo que me gusta	Mucho más de lo que me gusta

Apariencia

<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mucho menos de lo que me gusta	Menos de lo que me gusta	Justo lo que me gusta	Mas de lo que me gusta	Mucho más de lo que me gusta

Figura 11. Formato de evaluación del grupo de enfoque.

Debido a que en encuestas anteriores se pudo observar que la textura y el sabor eran atributos de suma importancia para la aceptación de los productos en el mercado, se decidió probar una variedad de sabores:

- Barra base (sin saborizante)
- Queso
- Queso con chile
- Chorizo
- Hierbas finas

5.2.3.2 Prueba de ordenamiento.

Para esta etapa solamente se siguió con 2 de los sabores anteriormente propuestos, la de mayor preferencia por los grupos de enfoque y la barra base. Utilizando la información aportada por estos grupos, donde se pudo observar que era necesario modificar el contenido de sal, condimentos y para el caso de la barra sabor chorizo, la cantidad de saborizante, esto para posicionar el producto dentro del gusto del consumidor.

Se utilizaron dos diseños factoriales completos 2^2 , 2^3 para barra base y sabor chorizo respectivamente, los factores considerados para esta prueba se muestran en la Figura 12. Para reducir el número de tratamientos se les pidió a 25 panelistas tomados al azar que fueran consumidores de botanas saladas, con el objeto de que evaluaran el producto y ordenaran de manera descendente los diferentes tratamientos, comenzando con el de mayor preferencia.



Figura 12. Factores de importancia en la formulación.

Las Figuras 13 y 14 muestran los formatos de evaluación utilizados por los panelistas para la barra sabor chorizo y base respectivamente, el diseño factorial 2^3 utilizado para el producto que fue adicionado con un saborizante originó un total de 8 formulaciones, y para la barra base se elaboraron 4 combinaciones diferentes, las cuales fueron evaluadas por los consumidores.

Sexo: _____ Edad: _____ # Plato: _____

1. Coloque el número de las muestras en el orden en el que están en su plato, después ordene en la siguiente columna de acuerdo a su preferencia. El número 1 indica la muestra de mayor preferencia.

Muestra	Orden de preferencia	Comentarios
_____	_____	
_____	_____	
_____	_____	
_____	_____	
_____	_____	
_____	_____	
_____	_____	
_____	_____	

1. ¿Por qué eligió el número 1 y 2?

Figura 13. Formato de evaluación prueba de ordenamiento para la barra sabor chorizo.

Sexo: _____ Edad: _____ # Plato: _____

1. Coloque el número de las muestras en el orden en el que están en su plato, después ordene en la siguiente columna de acuerdo a su preferencia. El número 1 indica la muestra de mayor preferencia.

Muestra	Orden de preferencia	Comentarios
_____	_____	
_____	_____	
_____	_____	
_____	_____	

2. ¿Por qué eligió el número 1 y 2?

Figura 14. Formato de evaluación prueba de ordenamiento para la barra sabor base.

5.2.3.3 Prueba hedónica.

Las dos barras de mayor preferencia para cada sabor, obtenidas por medio de los diseños anteriores, fueron evaluadas mediante una prueba hedónica o prueba de agrado a un total de 120 personas (Hough *et al.*, 2006). Donde el consumidor evaluó el grado de satisfacción general que le produjo cada muestra.

Para dicha evaluación se utilizó una escala hedónica de 7 puntos, donde los extremos representan el agrado extremo o desagrado extremo pasando por un punto neutral; se evaluó además el contenido de sal, condimentos, dureza y crujencia de las diferentes formulaciones para la barra de frijol y avena. Los formatos empleados se muestran en las Figura 15 y 16. Para el producto de

chorizo se decidió evaluar “Intensidad de sabor” para observar si el saborizante adicionado se encontraba dentro del gusto del consumidor.

Edad: _____ Sexo: () F () M MUESTRA: _____

Contenido de Sal

<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Me disgusta extremadamente	Me disgusta mucho	Me disgusta ligeramente	Ni me gusta ni me disgusta	Me gusta un poco	Me gusta mucho	Me gusta extremadamente

Contenido de Condimento

<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Me disgusta extremadamente	Me disgusta mucho	Me disgusta ligeramente	Ni me gusta ni me disgusta	Me gusta un poco	Me gusta mucho	Me gusta extremadamente

Dureza

<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Me disgusta extremadamente	Me disgusta mucho	Me disgusta ligeramente	Ni me gusta ni me disgusta	Me gusta un poco	Me gusta mucho	Me gusta extremadamente

Crujencia

<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Me disgusta extremadamente	Me disgusta mucho	Me disgusta ligeramente	Ni me gusta ni me disgusta	Me gusta un poco	Me gusta mucho	Me gusta extremadamente

Agrado global

<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Me disgusta extremadamente	Me disgusta mucho	Me disgusta ligeramente	Ni me gusta ni me disgusta	Me gusta un poco	Me gusta mucho	Me gusta extremadamente

Figura 15. Formato de evaluación prueba hedónica para la barra base.

Edad: _____ Sexo: () F () M MUESTRA: _____

Contenido de Sal

Me disgusta extremadamente Me disgusta mucho Me disgusta ligeramente Ni me gusta ni me disgusta Me gusta un poco Me gusta mucho Me gusta extremadamente

Contenido de Condimento

Me disgusta extremadamente Me disgusta mucho Me disgusta ligeramente Ni me gusta ni me disgusta Me gusta un poco Me gusta mucho Me gusta extremadamente

Intensidad de sabor

Me disgusta extremadamente Me disgusta mucho Me disgusta ligeramente Ni me gusta ni me disgusta Me gusta un poco Me gusta mucho Me gusta extremadamente

Dureza

Me disgusta extremadamente Me disgusta mucho Me disgusta ligeramente Ni me gusta ni me disgusta Me gusta un poco Me gusta mucho Me gusta extremadamente

Crujencia

Me disgusta extremadamente Me disgusta mucho Me disgusta ligeramente Ni me gusta ni me disgusta Me gusta un poco Me gusta mucho Me gusta extremadamente

Agrado global

Me disgusta extremadamente Me disgusta mucho Me disgusta ligeramente Ni me gusta ni me disgusta Me gusta un poco Me gusta mucho Me gusta extremadamente

Figura 16. Formato de evaluación prueba hedónica para la barra sabor Chorizo.

5.2.4 Análisis proximal.

La metodología empleada fue la descrita por la AOAC (2002), las pruebas se llevaron a cabo tanto en las harinas como en el producto final (barra mezcla de frijol-avena).

5.2.4.1 Cuantificación de proteína (Técnica 920.105).

Se utilizó la técnica descrita por la AOAC. Brevemente, se colocaron 0.5 g de muestra en un matraz de digestión Kjeldhal, se adicionó una pastilla de catalizador (sulfato de sodio y sulfato de cobre) y 10 mL de ácido sulfúrico. El matraz se colocó en un digestor aproximadamente durante una hora, hasta obtener una coloración verde claro. Una vez frío se colocó en el destilador y se adicionó agua destilada e hidróxido de sodio al 40%. El destilado se recibe en un matraz que contiene 25 mL de ácido bórico, y como indicador rojo de metilo y verde de bromocresol. A continuación se tituló con ácido clorhídrico 0.08 N. Se determinó el nitrógeno total multiplicado por un factor de conversión equivalente al porcentaje de proteína presente en el alimento.

$$\% \text{ Proteína} = (\text{mL gastados de ácido})(\text{Normalidad ácido})(0.1401)(6.25)$$

5.2.4.2 Cuantificación de lípidos (Técnica 920.39).

A continuación se describe brevemente la técnica para determinación de grasa cruda o extracto etéreo, se pesaron 3 g de muestra en un cartucho Soxhlet y tapar con algodón. Se introdujo el cartucho en el extractor Soxhlet y en la parte inferior un matraz de bola (llevado previamente a peso constante) con aproximadamente 150 mL de éter de petróleo. La extracción se llevó a cabo por 5 horas con un reflujo de 2 gotas por segundo. Una vez recuperado el exceso de éter de petróleo, se colocó el matraz en una estufa hasta un peso constante y finalmente se realizó el cálculo correspondiente:

$$\% \text{ Extracto etéreo} = \left(\frac{\text{peso extracto}}{\text{peso muestra}} \right) 100$$

5.2.4.3 Cuantificación de cenizas (Técnica 945.46).

De acuerdo a la metodología propuesta por la AOAC, se pesaron 2 g de muestra en un crisol de porcelana, previamente llevado a peso constante. La

muestra fue calcinada en una mufla a 550 - 560°C durante 5 horas. Llevar a temperatura ambiente en un desecador. Se pesó el crisol junto con la muestra y se restó el peso del crisol.

$$\% \text{ Cenizas} = \left(\frac{\text{peso residuo de cenizas}}{\text{peso de muestra}} \right) 100$$

5.2.4.4 Cuantificación de humedad (Técnica 925.23).

Pesar 2 g de muestra en una cápsula (previamente llevada a peso constante). Colocar en una estufa a 130°C por 2 horas. Llevar la cápsula con la muestra a un desecador y durante 40 min. Pesar y realizar el cálculo correspondiente:

$$\% \text{ Humedad} = (\text{peso inicial muestra} - \text{peso final muestra}) 100$$

5.2.4.5 Cuantificación de carbohidratos.

El cálculo del contenido de carbohidratos de la muestra, se realizó por diferencia de peso, con respecto al porcentaje de las determinaciones anteriores.

5.2.5 Determinación de compuestos bioactivos.

5.2.5.1 Fibra total.

5.2.5.1.1 Fibra insoluble.

La metodología seguida fue la establecida por Shiga *et al.*, (2003). Brevemente, se pulverizó y desgrasó la muestra, se adicionaron 50 mL de buffer de fosfato 0.08 mM a pH 6, se adicionaron 100 µL de α-amilasa. El frasco fue protegido de la luz, se incubó en baño María a 95°C por 30 min, se agitó cada 5 minutos y se ajustó el pH a 7.5 con la muestra atemperada. Se adicionaron 100µL de proteasa (5 mg/mL) y se incubó en baño María a 60°C por 30 min con agitación continua, se ajustó pH a 4 la muestra atemperada.

Posteriormente se adicionaron 300 μ L de amiloglucosidasa y se incubó por 30 min a 60°C con agitación continua. Después de incubar se filtró con papel Whatman No. 4 previamente pesado, y se realizaron 2 lavados con 15 mL agua a 60°C, 2 lavados con 15 mL de etanol al 80%. Se llevó a peso constante el filtro a 60°C por 24 horas, finalmente se pesó. La fibra insoluble es lo que quedó en el filtro.

5.2.5.1.2 Fibra soluble.

De la prueba anterior, se conservó el residuo del filtrado, y se adicionó un volumen igual de etanol al 80% y se dejó reposar por 12 horas. Se filtró en papel Whatman No. 42 previamente pesado, se hicieron 2 lavados con 15 mL de etanol al 80% y 2 con 15 mL de acetona. Se dejó secar el papel filtro por 24 horas a 60°C. Se registró el peso.

5.2.5.1.3 Almidón resistente.

El contenido de almidón resistente se obtuvo de acuerdo a la metodología descrita por Saura-Calixto *et al.*, (1993) y Shiga *et al.*, (2003). Brevemente, se utilizó la fracción insoluble de los pasos anteriores, se raspó el filtro hasta obtener 100 mg. Se adicionaron 6 mL de KOH 2 M en agitación continua por 30 min. Se agregaron 3 mL de buffer de acetato de sodio (0.4 M, pH 4.73) y se ajustó a pH 4.75 y se adicionaron 60 μ L de amiloglucosidasa, se mezclaron e incubaron a 60°C por 30 min con agitación continua.

Posteriormente se centrifugó a 3000 g por 15 min, la pastilla se lavó por lo menos una vez con agua destilada, el agua de lavado se aforó a 100 mL. La glucosa se cuantificó colorimétricamente y se calculó el contenido de almidón resistente, empleando la siguiente ecuación:

$$\text{Almidón resistente} = \frac{\text{glucosa } (\mu\text{g/mL}) \times \text{Volumen} \times \text{Dilución} \times 100 \times 0.9}{1000 \times \text{peso de la muestra (mg)}}$$

5.2.5.2 Compuestos fenólicos.

5.2.5.2.1 Extracto metanólico.

La determinación de compuestos fenólicos se llevó a cabo siguiendo la metodología de Cardador-Martínez *et al.*, (2002a). Brevemente, se pesó 1 g de muestra y se adicionaron 10 mL de metanol. Se agitó durante 24 horas a 25°C (cubiertos de la luz). Se transfirió a tubos de 50 mL y se centrifugó a 5000 rpm por 10 min a 4°C. Se tomó el sobrenadante, el cual fue utilizado para las siguientes pruebas.

5.2.5.2.2 Taninos condensados.

Metodología descrita por Desphande y Cheryan (1987), con modificaciones para adaptación en microplaca sugeridas por Feregrino-Pérez *et al.*, (2008). Brevemente, se tomaron 50 μ L del extracto metanólico y se adicionaron 200 μ L de reactivo de vainillina 1% - HCl 8% (1:1). Se analizaron las muestras a una absorbancia de 540 nm en un MULTISKAN. Se compararon los resultados con la curva estándar de (+)-Catequina con un intervalo de 0-1 mg/mL del estándar de referencia y finalmente se expresó el resultado como mg equivalentes de (+)-Catequina/g de muestra.

5.2.5.2.3 Flavonoides.

Para la determinación de flavonoides se siguió la metodología establecida por Oomah *et al.*, (2005) en microplaca. Se tomaron 50 μ L del extracto metanólico, y se agregaron 180 μ L de agua destilada y 20 μ L de solución de 2-aminoetil-difenilborato al 1% en metanol. Las muestras fueron analizadas a una absorbancia de 404 nm en MULTISKAN. Los resultados fueron comparados contra una curva estándar de rutina con un intervalo de 0 a 50 μ L/ml. Y se expresaron los resultados como mg equivalentes de rutina por gramo de muestra.

5.3 Pruebas de digestibilidad de proteína *in vitro*.

El método consiste en un sistema multienzimático propuesto por Hsu *et al.*, (1977), el cuál está conformado por tripsina, quimiotripsina y peptidasa. Brevemente, se colocaron 50 mL de una suspensión acuosa de proteínas (6.25 mg proteína/mL) se ajustó el pH a 8.0 con 0.1 N Ácido clorhídrico o utilizando Hidróxido de Sodio, las muestras fueron colocadas en un baño maría a 37°C y se mantuvieron en agitación constante. Después se agregaron 5mL de la solución multienzimática (1.6 mg de tripsina, 3.1 mg de quimiotripsina y 1.3 mg de peptidasa/mL pH 8.0). Se midió el descenso del pH en un periodo de 10 min.

Se calculó la digestibilidad, utilizando la siguiente fórmula:

$$\% \text{ digestibilidad} = 234.84 - 22.5 x$$

Donde x = pH después de la digestión.

5.4 Aporte calórico.

Para determinar la cantidad de calorías que aporta el producto final, éstas se reportan considerando el contenido total de grasa, proteína y carbohidratos disponibles.

Los carbohidratos disponibles (CD) son la diferencia del peso de los demás macronutrientes, así como humedad y cenizas. Una vez obtenido el porcentaje de carbohidratos disponibles, proteína y grasa se multiplican por 4, 4 y 9 respectivamente. Obteniendo así el total de calorías aportadas por el producto por cada 100 gramos de éste.

$$\% \text{ CD} = 100 - (\text{grasa}/100\text{g} + \text{proteína}/100\text{g} + \text{humedad}/100 \text{ g} + \text{cenizas}/100\text{g})$$

5.5 Pruebas de estabilidad durante el almacenamiento.

5.5.1 Isotherma de adsorción.

El producto desarrollado por Ramírez (2010) mostró una reducida vida de anaquel, por lo que fue necesario agregar un conservador, dentro de los agentes antimicrobianos recomendados para panificación se encuentran algunos propionatos y sorbatos. Se propuso la incorporación de propionato de sodio en dos concentraciones para evaluar su efectividad (0.025 % y 0.05 %).

Se construyó una isoterma de adsorción a 35 °C en 8 cámaras con humedad relativa en un intervalo de 0.1% a 97.3 %. Se colocaron 2 g de muestra en frascos de vidrio dentro de las cámaras selladas. El peso de las muestras fue registrada cada 5 días durante 5 semanas. Para construir la isoterma de adsorción, se graficaron los valores de humedad contra la actividad acuosa. Las sales utilizadas se muestran en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Sales empleadas para la isoterma de adsorción.

Sal	Fórmula química	Humedad Relativa a 25 °C (%)
Sulfato de calcio	CaSO ₄	0.1
Acetato de potasio	CH ₃ COOK	22.5
Cloruro de magnesio	MgCl ₂	32.7
Carbonato de potasio	K ₂ CO ₃	43.1
Bromuro de sodio	NaBr	57.6
Nitrito de sodio	NaNO ₂	65.4
Cloruro de sodio	NaCl	75.2
Cloruro de potasio	KCl	84.2
Sulfato de potasio	K ₂ SO ₄	97.3

5.5.2 Pruebas de vida acelerada.

Las muestras fueron empacadas en dos diferentes materiales y almacenadas a dos temperaturas 35 °C y 45 °C. Los materiales utilizados fueron bolsas de celofán de 6 x 14 cm y plástico metalizado 10 x 11 cm, se almacenaron 6 barras por bolsa, con un contenido neto de 45 g.

5.5.2.1 Índice de peróxidos.

5.5.2.1.1 Extracción de lípidos.

Para determinar el índice de peróxidos de la muestra, es necesario extraer los lípidos presentes en el producto, se tomó como base la metodología propuesta por la AOAC 983.23. Brevemente, se pesaron 15 g de muestra y se agregaron 80 mL de metanol y 40 mL de cloroformo. Se colocaron en agitación constante durante 15 min en un baño maría a una temperatura entre 45 °C y 50°C. Se agregaron 40 mL de cloroformo se mezcló por 5 min y finalmente se agregaron 40 mL de agua destilada y se mezcló por un min más. Se dejó reposar la mezcla para que se separara la fase acuosa de la oleosa. Finalmente se extrajo la mezcla aceite-cloroformo y se evaporó el cloroformo.

5.5.2.1.2 Determinación de índice de peróxidos.

Una vez extraídos los lípidos se siguió la metodología adaptada por Rondon *et al.*, (2004) y García (2008). El aceite obtenido fue mezclado con 40 mL de una solución ácido acético-cloroformo (3:2). Se añadieron 30 mL de agua y 0.5 mL de una solución saturada de yoduro de potasio, se dejó reaccionar la mezcla durante 1 min, se agregaron 0.5 mL de una solución de almidón al 1% y se tituló de forma gradual con una solución de tiosulfato de sodio 0.01 M, hasta que desapareciera el color azul.

Las unidades de medición del índice de peróxidos utilizados son miliequivalentes de oxígeno activo por kilogramo de aceite (meqO₂/Kg). Para el cálculo del índice de peróxido se utiliza la siguiente ecuación establecida en ISO 3960.

$$IP = \frac{1000 (V - V_0) M}{m}$$

Donde:

IP= índice de peróxido variable de respuesta en meq O₂/Kg

V= volumen de solución de tiosulfato de sodio utilizado para la determinación

V₀= volumen de solución de tiosulfato utilizado en el blanco

M= molaridad de la solución de tiosulfato

m= masa de la muestra

5.5.2.2 Medición de color.

Se midió el color de las barras recién elaboradas y almacenadas en ambas temperaturas en los dos empaques, utilizando un espectrofotómetro portátil Minolta CM-2002 donde se registraron los valores L^* , a y b de la escala internacional de color VIELAB.

5.5.2.3 Textura.

Se realizó la prueba de corte, de acuerdo a la metodología previamente descrita (Kim, 2004).

5.5.2.4 Perfil sensorial del producto.

El análisis descriptivo (denominado QDA por sus siglas en inglés) puede definirse como un método sensorial que emplea términos o descriptores para caracterizar los atributos de un producto a través del consenso de un grupo de jueces entrenados. Esta metodología requiere de un panel entrenado en el uso de productos o ingredientes de referencia, que faciliten el desempeño del juez. El análisis descriptivo puede emplearse para monitorear cambios sensoriales en el producto durante el almacenamiento, lo cual puede ser complementado con la metodología Spectrum, que consiste en detectar diferencias en la intensidad de algún atributo por parte de los panelistas.

Antes de ser elegido el panel se estableció el objetivo del mismo y que es lo que era lo que se deseaba evaluar, plantear estrategias necesarias para mantener motivado al panel y evitar que los integrantes deserten.

5.5.2.4.1 Selección del panel.

Se eligieron individuos que tuvieran una frecuencia de consumo de botanas por lo menos una vez a la semana, y que tuvieran horarios flexibles. Los candidatos realizaron pruebas triangulares secuenciales.

Una prueba triangular se utiliza cuando se busca determinar diferencias sensoriales entre dos muestras, por lo tanto se presentaron al candidato tres muestras codificadas, indicándoles que una de ellas es diferente, si es capaz de identificarla, la prueba es correcta y a éstas pruebas se les denomina pruebas secuenciales cuando se realiza un número establecido de éstas, donde el panelista requiere obtener un número mínimo de pruebas correctas para poder continuar en el proceso de selección (Meilgaard, 1991).

Las pruebas secuenciales son una forma de economizar en el número de evaluaciones requeridas para tomar una decisión sobre aceptar o rechazar al candidato.

5.5.2.4.2 Entrenamiento del panel.

Los atributos a evaluar fueron sabor (contenido de sal y condimento), así como textura (dureza y crujencia). De acuerdo a la metodología establecida por Meilgaard (1991), se le instruyó al panelista en el uso de la escala de 15 cm, y se le dio a cada uno, productos que fueran representativos de las diferentes intensidades para cada atributo.

Los integrantes del panel probaron los productos de referencia y discutieron entre ellos para resaltar las diferencias en intensidad que existían entre ellos. Aquellos panelistas que mostraron menor desempeño en estas pruebas llevaron un entrenamiento más intenso.

Con el objetivo de determinar el perfil sensorial de la barra de frijol y avena, así como las alteraciones sensoriales que podían ocurrir durante el almacenamiento, los jueces evaluaron el producto el producto recién elaborado y almacenado, por duplicado. Entre cada muestra se le pidió al juez hacer uso de

los materiales de arrastre, los utilizados en esta prueba fueron agua purificada y pan de caja. Las muestras fueron colocadas en orden aleatorio, codificadas con un número de tres dígitos y servidas en desechable blanco.

5.6 Análisis estadístico.

Los resultados que se obtenidos se expresaron como la media \pm error estándar como medida de dispersión de los datos. Las diferencias entre medias para las pruebas de caracterización química, nutracéutica se analizaron por el método de Tukey, utilizando el programa JMP 5.0.1 El análisis de los datos de las evaluaciones sensoriales, fueron analizados por el método χ^2 para determinar diferencias estadísticas entre frecuencias.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

6.1 Modificación de la formulación.

La formulación desarrollada por Ramírez (2010), denominada L30 consta de un 24.6% harina de frijol común y 18.9% harina de avena. Primeramente se realizó un análisis de la importancia y el aporte de cada ingrediente a la formulación. La masa de manera general, es una mezcla de harina de diferentes orígenes, condimentos y agentes ligantes. En el Cuadro 5 se muestran los porcentajes modificados para esta primera etapa.

Tomando en cuenta que en los productos horneados las principales funciones de la grasa son impartir sabor, obtener productos más suaves y mejorar sensación en el paladar (Pareyt y Delcour 2008). Sin embargo, actualmente la tendencia a disminuir la grasa trae como consecuencia obtener texturas menos suaves, la disminución se puede dar sustituyendo con algunas gomas o cereales como la avena (Conforti *et al.* 1996). Esto puede ser tomado a favor de la formulación, ya que el objetivo era obtener un producto más duro y crujiente. Además de observar que al reducir el porcentaje de agentes ligantes, se seguía obteniendo una masa sin rupturas al moldear.

En los resultados del grupo de enfoque realizado en el trabajo desarrollado por Ramírez (2010), el consumidor expresó que le gustaría que la barra tuviera un ligero sabor a frijol, por lo que se consideró importante incrementar el porcentaje de harina de esta leguminosa en la formulación.

Debido a que el contenido de harina de trigo no era suficiente para hacer que la masa fuera elástica y por lo tanto incapaz de obtener volumen, se decidió eliminarla de la formulación y sustituirla con harina de frijol y harina de avena, el porcentaje de inclusión de frijol llegó a su límite hasta que su sabor fue detectado por un pequeño grupo de consumidores. Llegando así al 30.6 % en la formulación teniendo un incremento del 6 % con respecto a la formulación L30 desarrollada por Ramírez (2010).

Cuadro 5. Modificaciones realizadas en la formulación de la barra de frijol-avena.

Ingrediente	L30	Reformulación
Harina de frijol	24.6	30.6
Harina de avena	18.9	23.6
Harina de trigo	14.5	-
Condimentos	4.5	2.55
Agentes ligantes	14.9	4.5
Agua	22	38.4995
Aditivos	0.6	0.2505
Total	100%	100%

Composición de la barra de frijol-avena, L30 formulación desarrollada por Ramírez (2010) y la reformulación propuesta en el presente trabajo.

6.1.1 Capacidad de Absorción de agua.

El incremento en la incorporación de harina de frijol común, necesitó un aumento también en el ingrediente mayoritario de la formulación, el agua. Existen reportes que indican que al adicionar leguminosas a productos de panificación se incrementa la retención de agua (Daubenmire *et al.*, 1993). Buscando disminuir este fenómeno se decidió utilizar diferentes tamaños de partícula para la harina de frijol, ya que al incrementar su diámetro se reduce el área de contacto y por lo tanto la absorción de agua. Además esta prueba nos permitió conocer la cantidad de agua necesaria para formar una masa maleable y sin fracturas.

Otro factor importante para la absorción de agua, especialmente la harina de frijol es su alto contenido de carbohidratos, ya que el almidón presente participa en el proceso de gelatinización y la fibra cruda puede dar paso a un hinchamiento al retener agua (Nzigamasabo y Hui Ming, 2006). La avena también contribuye a la mayor retención de agua, debido a los β -glucanos contenidos en este cereal, incrementan la viscosidad de la solución (Sadiq *et al.*, 2008).

En el Cuadro 6 se muestra la capacidad de absorción de agua que muestra la masa utilizando diferentes tamaños de diámetro de partícula.

Cuadro 6. Capacidad de absorción de agua de la mezcla de ingredientes, usando diferentes tamaños de partícula y tres mezclas de harina de frijol común (*P. vulgaris L.*).

Muestra harina	Capacidad de absorción
Diámetro de partícula (mm)	de agua de la masa
0.84 ¹	0.487 ± 0.01 ^c
0.71 ¹	0.500 ± 0.02 ^c
0.59 ¹	0.523 ± 0.02 ^{b,c}
0.42 ¹	0.610 ± 0.004 ^a
0.84 : 0.42 ²	0.494 ± 0.02 ^c
0.71 : 0.42 ²	0.564 ± 0.012 ^{a,b,c}
0.59 : 0.42 ²	0.587 ± 0.0001 ^{a,b}

¹ Barras elaboradas con harina de frijol tamizada, tamaño de partícula 0.84, 0.71, 0.59 y 0.42 mm respectivamente, ² barras elaboradas con una mezcla de harina de frijol tamizada en mallas diferentes, en una proporción 50:50. Los resultados representan la media de 2 experimentos independientes, con dos repeticiones ± el error estándar. Diferentes letras en la misma columna expresan diferencias significativas ($\alpha < 0.05$) en la prueba de Tukey.

De acuerdo a los datos reportados en el Cuadro 6, se puede observar que conforme se incrementa el tamaño de partícula, existe una tendencia a reducir el agua necesaria para incorporar adecuadamente los ingredientes secos.

Este fenómeno también fue estudiado por Sheweta *et al.*, (2012) quienes probaron el efecto del tamaño de partícula y la influencia del almidón dañado causado por la molienda, sobre las propiedades fisicoquímicas de harina de trigo y calidad de galletas elaboradas a partir de éstas. Observaron que a menor tamaño de partícula se producía mayor daño al almidón, lo que ocasionaba mayor retención de agua por parte de la harina, afectando las propiedades del producto final.

6.1.3 Textura.

Una vez establecida la cantidad de agua que debía agregarse a la formulación, se evaluó la influencia que tenía el uso de partículas de diferentes

tamaños sobre la textura. Considerando, la crujencia como un atributo muy importante para este tipo de productos donde un alimento crujiente se caracteriza por poseer una estructura rígida, no deformable que súbitamente colapsa al aplicar una pequeña fuerza de corte (Bourne, 1975).

En el Cuadro 7 se muestra que un diámetro de partícula mayor origina productos con una menor dureza, se realizó además una comparación con un producto comercial, el cual fue una barra de salvado de trigo que mostró una dureza similar a las barras de frijol y avena elaboradas con harina de frijol conformada por una mezcla de tamaños de partícula.

Cuadro 7. Parámetros de textura de barras de frijol (*P. vulgaris L.*) y avena (*A. sativa*) obtenidos mediante la prueba de corte.

Muestra	Dureza	Crujencia
	[F max (Kg _f)]	[No. de picos]
Barra salvado ¹	7.299 ± 0.398 ^{a,b}	2 ± 0.577 ^d
Diámetro de partícula 0.84 ²	3.847 ± 0.571 ^b	3 ± 0.707 ^{c,d}
0.71 ²	4.555 ± 0.204 ^b	5 ± 0.707 ^{b,c,d}
0.59 ²	5.739 ± 0.952 ^b	5 ± 0.913 ^{b,c,d}
0.42 ²	9.895 ± 1.141 ^a	9 ± 1.108 ^a
0.84 : 0.42 ³	7.060 ± 1.015 ^{a,b}	6 ± 0.645 ^{a,b,c}
0.71 : 0.42 ³	5.535 ± 0.916 ^b	6 ± 0.25 ^{a,b,c}
0.59 : 0.42 ³	6.457 ± 0.575 ^{a,b}	8 ± 0.6455 ^{a,b}

¹ Barra comercial a base de salvado de trigo (35%), ² barras elaboradas con harina de frijol tamizada con un tamaño de partícula de 0.84, 0.71, 0.59 y 0.42 mm respectivamente, ³ barras elaboradas con una mezcla de harina de frijol tamizada con dos diferentes tamaños de partícula, en una proporción 50:50. Los resultados representan la media de 2 experimentos independientes, con dos repeticiones ± el error estándar. Diferentes letras en la misma columna expresan diferencias significativas ($\alpha < 0.05$) en la prueba de Tukey.

La reformulación de la barra de frijol-avena incrementó la cantidad de harina de frijol y disminuyó el porcentaje de grasa, ambos cambios originaron modificaciones en el perfil de textura. Estos cambios han sido estudiados en

productos a base de cereales enriquecidos con un material altamente proteico como las leguminosas y a la acción debido a la humedad presente en el proceso, se obtienen productos más densos y por consiguiente exhiben mayor dureza (Liu, 2003). Sudha *et al.* (2007) observaron que al sustituir la grasa en la formulación de bizcochos, existía una tendencia a obtener productos más duros, afectando parámetros sensoriales de sabor y textura. Efecto similar observado por otros autores en diversos productos horneados (Lai y Lin 2006; Laguna *et al.*, 2011). Sin embargo para la barra de frijol y avena este efecto es deseable, ya que se buscaba obtener un producto de mayor dureza.

La fuerza de compresión ejercida en galletas de trigo elaboradas con diferentes tamaños de partícula, mostraron un fenómeno similar al observado en el presente trabajo, donde la dureza se incrementaba al utilizar un tamaño más pequeño en la formulación, además este efecto ha sido atribuido a la mayor capacidad de retención de agua, ya que se incrementó la rigidez de la masa y afectó las propiedades del producto final (Sheweta *et al.*, 2012).

De acuerdo a las pruebas sensoriales realizadas a la muestra L30 (Ramírez, 2010), era necesario mejorar la textura del producto, el uso de diferentes tamaños de partículas para la harina de frijol común, permitió obtener productos más firmes y además se logró un incremento en la crujencia del mismo. Vincent (1998) ha relacionado este atributo con la cantidad de picos de fractura de mayor tamaño, de acuerdo a su estudio los microeventos seguidos de la primera mordida se pueden relacionar con la crujencia del producto, es decir a mayor cantidad de éstos, más crujiente. En el caso donde el número de picos se aproxime a cero, indica que el producto es poco crujiente (Mazumder *et al.*, 2007).

Las barras en el mercado se consideran con un alto contenido de proteína, cuando dentro de su formulación presentan del 20 – 50 %, lo que significa que el tipo de proteína o la combinación de los ingredientes pudieran tener una influencia significativa en la textura (Imtiaz *et al.*, 2012).

La Figura 17, muestra el número de picos principales observados para las diferentes formulaciones, es importante mencionar que el producto más crujiente resultó utilizando la harina de frijol con el tamaño más pequeño, sin embargo este exhibió una alta dureza 9.89 ± 1.14 Kgf, por lo tanto se eligió la formulación que tuviera una dureza más cercana al producto comercial y mostrara una alta crujencia, eligiendo así la barra elaborada con una mezcla de harina de frijol con un tamaño de partícula de 0.59 y 0.42 mm, en una proporción 50:50 respectivamente.

Sin embargo, las partículas de mayor diámetro eran detectadas por el consumidor, debido a esto, se decidió utilizar una mezcla de harina de frijol conformada por partículas con un diámetro de 0.59 y 0.42 mm en dos proporciones 50:50 y 25:75, respectivamente.

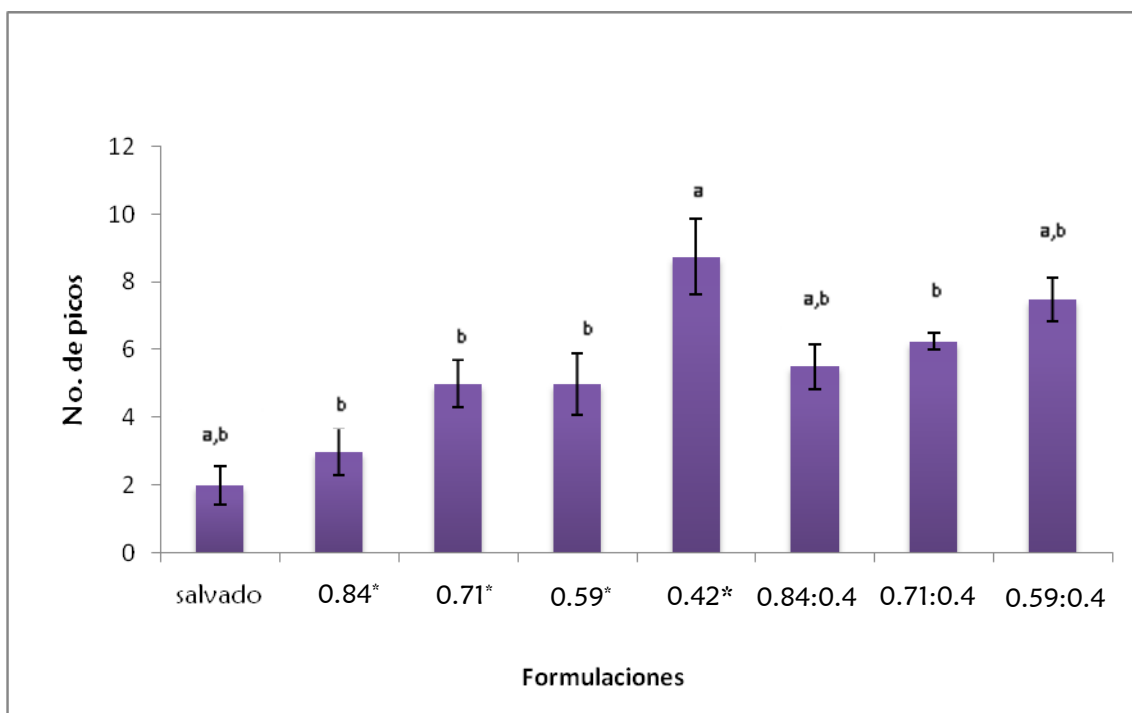


Figura 17. Crujencia medida como el número de picos principales en cada formulación, Barra comercial a base de salvado de trigo (35%), **barras elaboradas con harina de frijol tamizada 0.84, 0.71, 0.59 y 0.42 mm respectivamente de tamaño de partícula, * barras elaboradas con una mezcla de harina de frijol con dos diferentes tamaños de partícula, en una proporción 50:50. Los resultados representan la media de 2 experimentos independientes, con dos repeticiones \pm el error estándar. Diferentes letras en la misma columna expresan diferencias significativas $\alpha < 0.05$) en la prueba de Tukey.

Además de tener la harina de frijol en dos proporciones se probaron aditivos en tres diferentes porcentajes de incorporación para mejorar la textura del producto. En la Figura 18 se muestran los resultados de dureza, pese a que no existe una diferencia estadística significativa entre las muestras se puede observar que al incorporar el aditivo A, las barras son productos más duros y complementando con la Figura 19 que representa la crujencia de las muestras, se observa que el aditivo C es el que hace al producto menos crujiente. Por lo tanto se eligió el aditivo B con una mezcla de tamaño de partícula 75:25 para la harina de frijol.

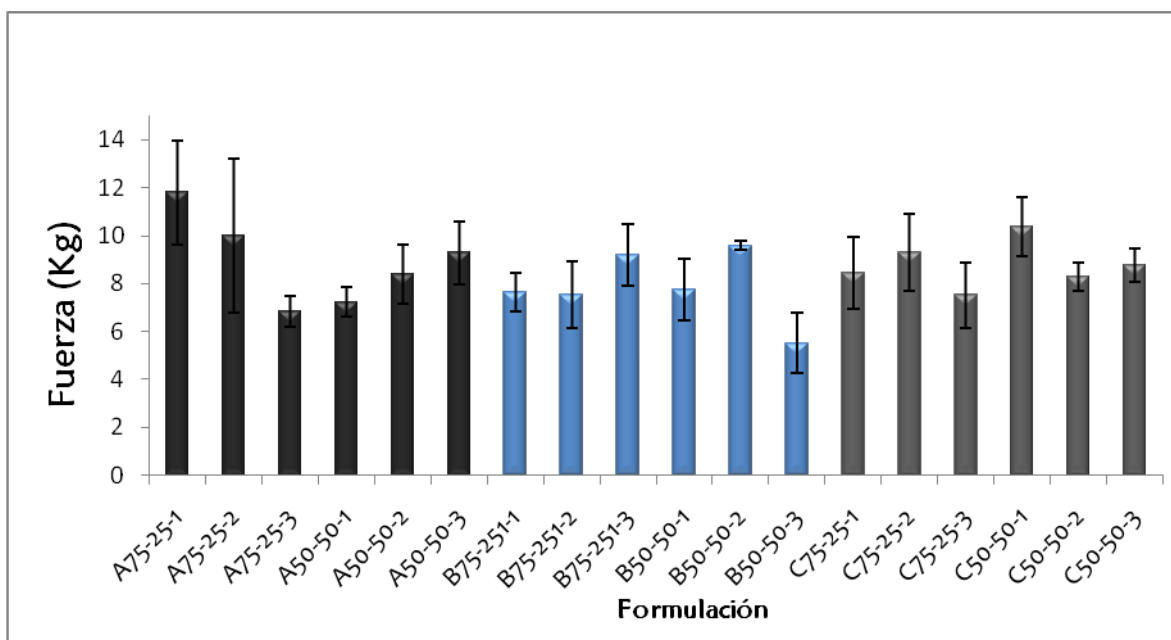


Figura 18. Textura de barras de frijol (*P. vulgaris* L.) y avena (*A. sativa*) obtenidos mediante la prueba de corte expresada como la fuerza en (Kg). A, B y C indican los aditivos utilizados 75-25, 50-50 es la proporción en la que se agregó la harina de frijol en dos tamaños de partícula 0.42 y 0.59 mm, respectivamente. Así como el porcentaje de inclusión del aditivo en un intervalo de 1 a 0.25 %.

El aditivo B nos permitió obtener una barra con una dureza similar a un producto comercial y una mayor crujencia. Además que fue el aditivo que obtuvo menor variación en los datos, las grandes dispersiones que se tienen entre las muestras pueden ser debidas a que el producto durante el horneado tuvo

tendencia a formar ondas, lo que hacía su superficie irregular y las barras elaboradas con el aditivo B fueron las más uniformes.

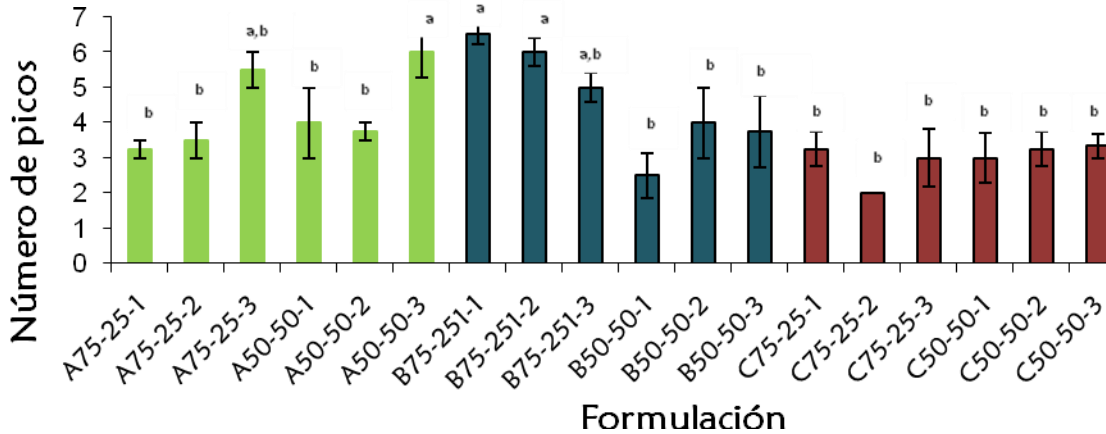


Figura 19. Crujencia medida como el número de picos en barras de frijol común (*P. vulgaris* L.) y avena (*A. sativa*) obtenidos mediante la prueba de corte. A, B y C indican los aditivos utilizados, 75-25, 50-50 es la proporción en la que se agregó la harina de frijol en dos tamaños de partícula 0.42 y 0.59 mm, respectivamente. Así como el porcentaje de inclusión del aditivo en un intervalo de 1 a 0.25 %.

De acuerdo a los resultados observados en la Figura 18 se puede sugerir que el aditivo A dentro de la formulación funciona como un agente aglomerante, se debe recordar que la prueba utilizada fue una prueba de corte y se reportó el pico con la fuerza máxima, por lo que en ese punto se pudieron aglomerar una gran cantidad de partículas, lo que necesitaría una mayor fuerza para penetrar la muestra, en contraste con los aditivos B y C. Además en la Figura 19 se puede atribuir una mayor crujeancia del aditivo B posiblemente este formando una mayor cantidad de capas, causado por una distribución más heterogénea de los ingredientes de la formulación.

6.1.4 Evaluación sensorial.

6.1.4.1 Grupo de enfoque.

Para conocer los atributos y características buscadas por el consumidor se realizaron encuestas a 45 individuos entre 18 y 35 años. Obteniendo los siguientes resultados:

1. Horario del día en que acostumbra consumir las botanas saladas.

8.51 % Por las mañanas.

76.59 % Por las tardes.

14.89 % No tiene horario definido.

2. Ventajas por las cuáles compra una botana.

61.70 % Ahorro de tiempo

19.14 % Ahorro en costo

19.12 % Facilidad de transporte

20.33 % Otros (bajo en calorías, antojo)

3. Al escoger este tipo de productos, ¿Cuál es la característica que valora más a la hora de comprarlos?

29.78 % Precio

21.76 % Facilidad de consumo

12 % Presentación/Empaque

29.78 % Beneficios a la salud

21.27 % Facilidad de consumo

76.59 % Sabor

4. ¿Qué beneficios adicionales buscaría en una botana?

51.38 % Nutrición

4.16 % Textura

44.45 % Contenido

De acuerdo a la información obtenida de las encuestas se pudo establecer las prioridades que busca el consumidor en un producto de esta naturaleza para que los productos sean aceptados.

Los resultados de las encuestas arrojan que el horario de consumo para productos o botanas saladas es predominantemente por las tardes obteniendo un 76.59% de las respuestas de los participantes, además de especificar que compran este tipo de productos debido a que son prácticos y permiten ahorrar tiempo

Los consumidores expresaron que el sabor era el principal factor de compra de un producto indicando en la encuesta que un 76.59% prefiere productos que tengan buen sabor, además que ofrezca beneficios a la salud 29.78% y sea nutritivo 51.38%.

Debido a que el sabor tiene gran influencia sobre el consumo de este tipo de productos, se realizaron 3 grupos de enfoque en esta prueba los integrantes de los grupos probaron los sabores propuestos: Queso, Queso con Chile, Chorizo, Hierbas finas y Base, la cual no lleva ningún saborizante.

El producto fue evaluado mediante una escala JAR para contenido de sal, condimentos, intensidad de sabor, sabor a frijol, dureza, crujencia, apariencia. En las Figuras 20-24 se observan los resultados.

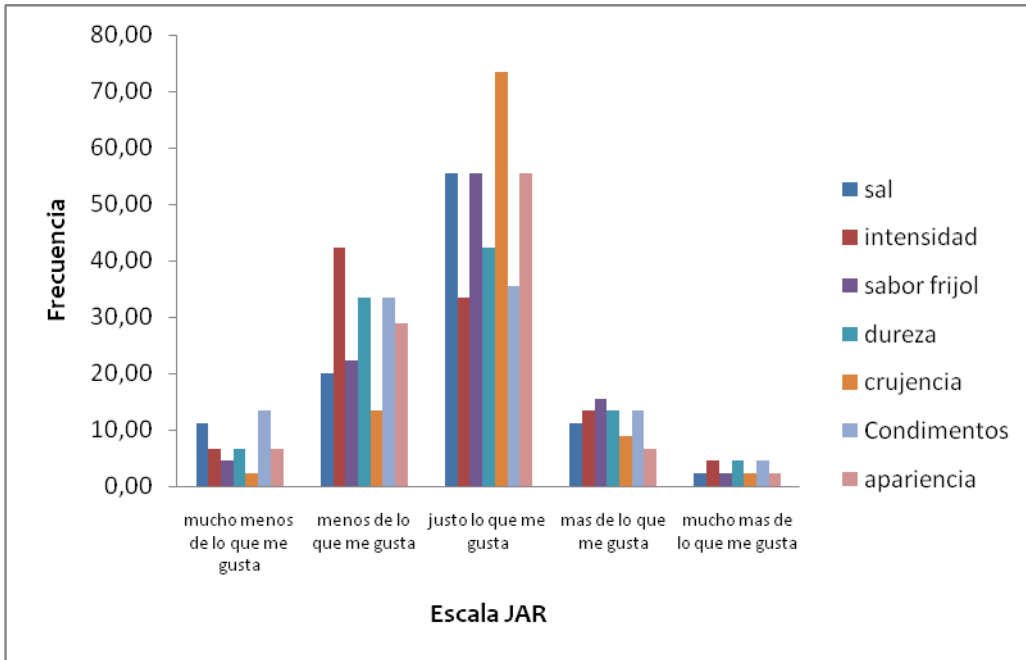


Figura 20. Resultados escala JAR, para la barra base.

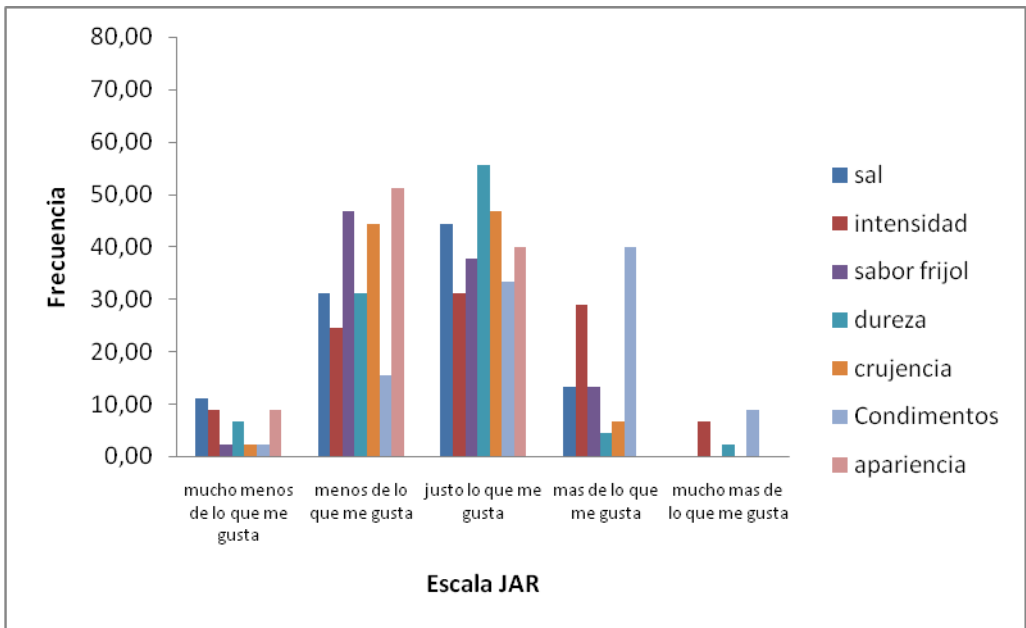


Figura 21. Resultados escala JAR, para la barra sabor hierbas finas.

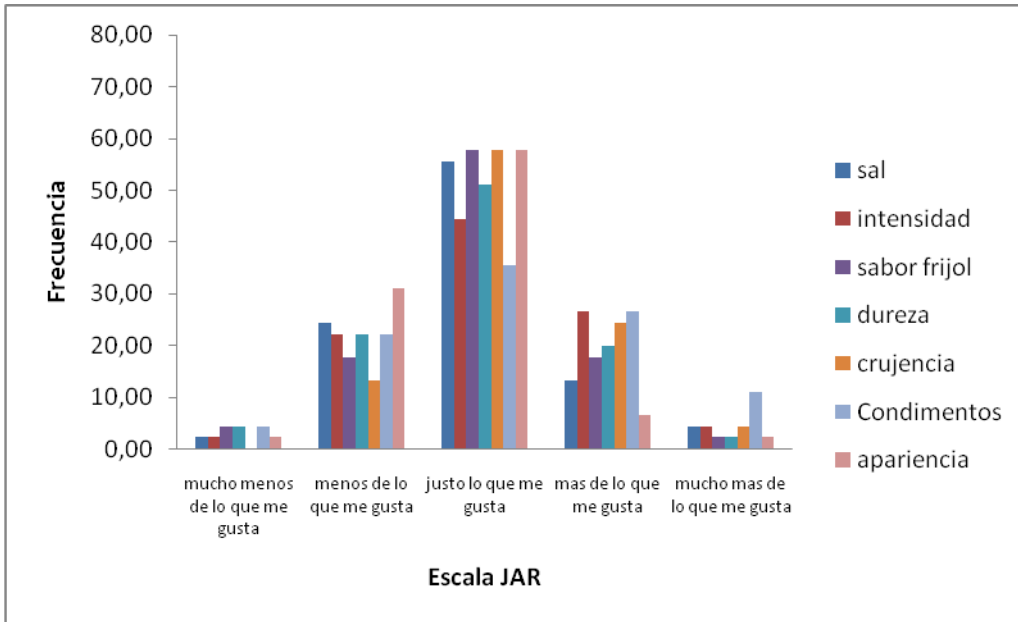


Figura 22. Resultados escala JAR, para la barra sabor chorizo.

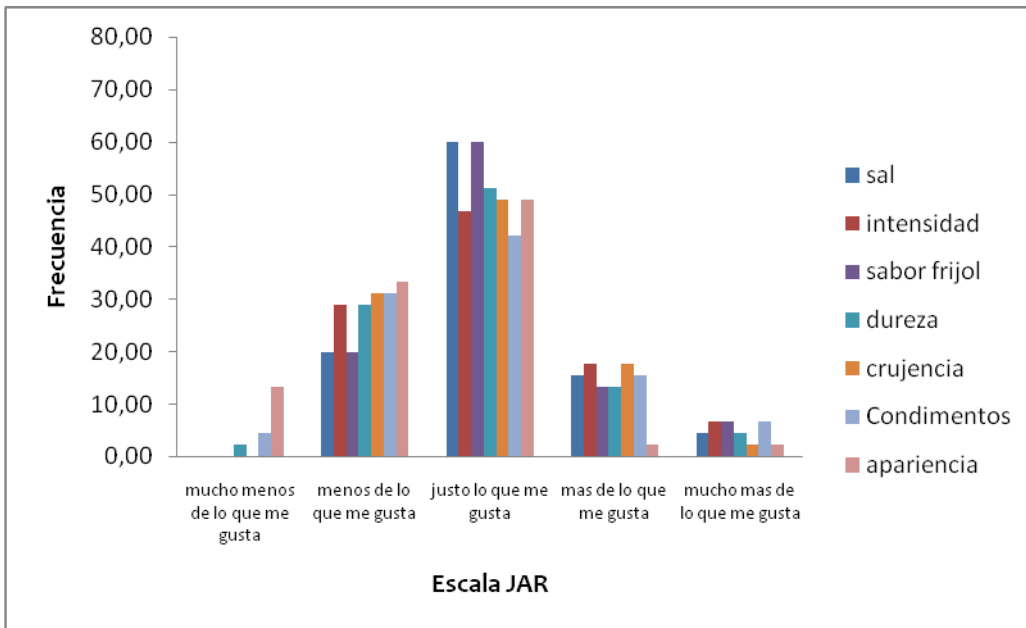


Figura 23. Resultados escala JAR, para la barra sabor queso.

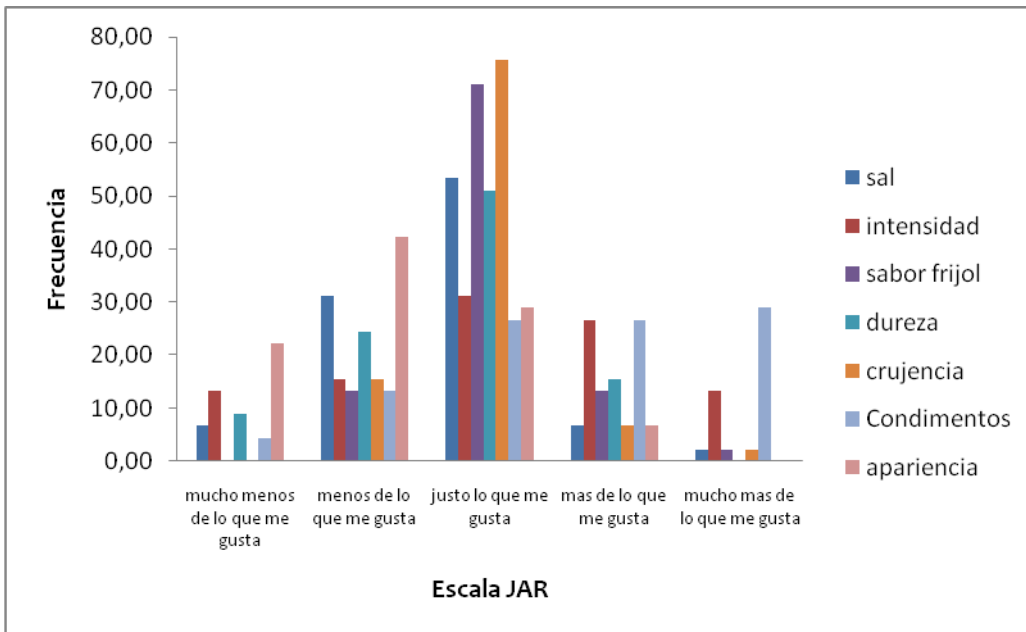


Figura 24. Resultados escala JAR, para la barra sabor queso con chile.

La escala JAR ayudó a encontrar la intensidad idónea que el consumidor busca en un producto de estas características, se busca de manera general que el consumidor evalúe en el nivel 3, es decir “Justo lo que me gusta”. De manera general, se pueden retomar los siguientes puntos, en todas las muestras la apariencia fue el atributo que causó menor agrado. Las sugerencias fueron que se cambiara el espesor de la barra, ya que estaba un poco gruesa, lo que causaba desagrado, además propusieron que se le adicionaran ingredientes extra en la superficie.

Otro aspecto de gran importancia fue que el sabor a frijol en la mayoría de las formulaciones le agradó al consumidor, en cuanto a la textura del producto es importante mencionar que para todos los sabores presentados, la dureza y crujencia se ubicaron en la parte media de la escala, es decir, el consumidor lo evaluó como “Justo lo que me gusta”, obteniendo 50 - 60% y 50 - 75 %, respectivamente. Lo que cobra importancia debido a las modificaciones realizadas con respecto a la adición de un aditivo para mejorar la textura y los diferentes

tamaños de partícula de la harina de frijol que lleva la barra en la formulación, además de no recibir ningún comentario con respecto al tamaño de partícula.

La escala Justo en lo correcto o JAR (por sus siglas en inglés) ha sido utilizada para determinar los niveles óptimos de los atributos de un producto y ha servido de guía para entender por qué a los consumidores les gusta o no y así encaminar los esfuerzos de desarrollo de productos, dirigidos a aumentar la aceptabilidad por parte de los consumidores (Johnson y Vickers, 1987).

La mayoría de las notas que se lograron capturar con respecto al sabor de la barra, expresaron que les gustaría que tuviera más sal y menos condimentos. Lo que fue importante tomar en cuenta para las siguientes formulaciones.

Además de emitir críticas y evaluar diferentes aspectos de las muestras, se les pidió que las ordenaran de acuerdo a su preferencia, el número 1 a la muestra de mayor agrado y 5 a la que haya causado menor aceptabilidad. Por lo que, el sabor que obtuvo una suma menor por parte de los participantes fue la de mayor preferencia (Figura 25).

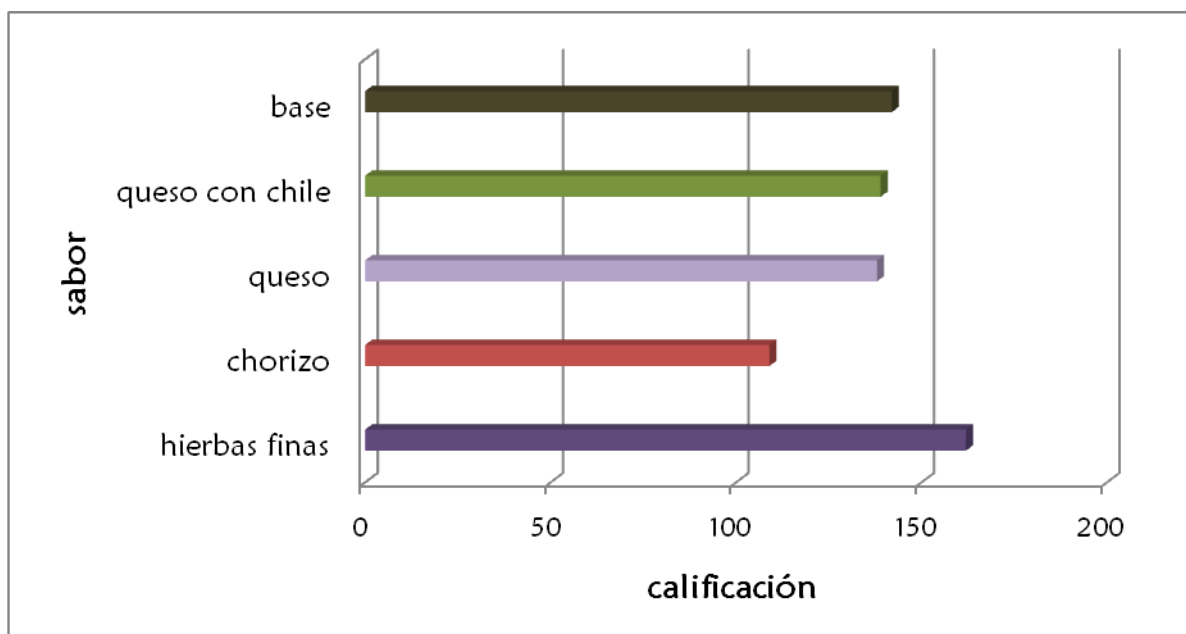


Figura 25. Resultado de la prueba de ordenamiento de los grupos de enfoque.

Los panelistas ordenaron las muestras colocando el número “1” a la de mayor preferencia y “5” a la de menor agrado, por lo que una suma menor indica un agrado superior; La barra de mayor aceptación fue la adicionada con sabor chorizo, por lo que se decidió continuar solamente con esta barra y la base.

6.1.4.2 Prueba de ordenamiento.

Se retomaron los resultados de la evaluación sensorial y se puede observar que el atributo que causa mayor dispersión en los datos es el sabor, por lo que se trabajó con éste, específicamente en el contenido de sal y condimento. Se modificaron los porcentajes de adición y utilizando dos niveles, los cuáles fueron más bajos en condimento y más altos para el contenido de sal, con referencia a la cantidad utilizada para las muestras evaluadas en el grupo de enfoque. Se utilizaron los diseños mostrados en los Cuadros 8 y 9.

Cuadro 8. Diseño Factorial 2^2 para la barra BASE. Cuatro tratamientos (-1 = nivel bajo y 1 = nivel alto).

Formulación	Sal	Condimento
B1	-1	-1
B2	-1	1
B3	1	-1
B4	1	1

Cuadro 9. Diseño Factorial 2^3 para la Barra sabor Chorizo. Ocho tratamientos (-1 = nivel bajo y 1 = nivel alto).

Formulación	Sal	Condimento	Saborizante
C1	-1	-1	-1
C2	-1	-1	1
C3	-1	1	-1
C4	-1	1	1
C5	1	-1	-1
C6	1	-1	1
C7	1	1	-1
C8	1	1	1

Los tratamientos obtenidos mediante los diseños factoriales mostrados anteriormente fueron evaluados por dos grupos de 25 personas, un grupo para cada sabor, a quienes se les dieron las muestras de manera aleatoria y codificadas por números de 3 dígitos, y se les pidió que las ordenaran de acuerdo a su preferencia. Esta prueba permitió reducir el número de muestras para continuar con las etapas del proyecto.

La Figura 26 muestra los resultados de la prueba de ordenamiento para el sabor BASE, la barra de mayor preferencia B3, que consistía factor “sal” en el nivel más alto (1) y “condimento” en el nivel bajo (-1), el segundo lugar fue otorgado a B4 que tenía ambos factores en el nivel más alto (1), lo cual nos indica que al haber incrementado el contenido de sal, la preferencia por el producto también incrementó.

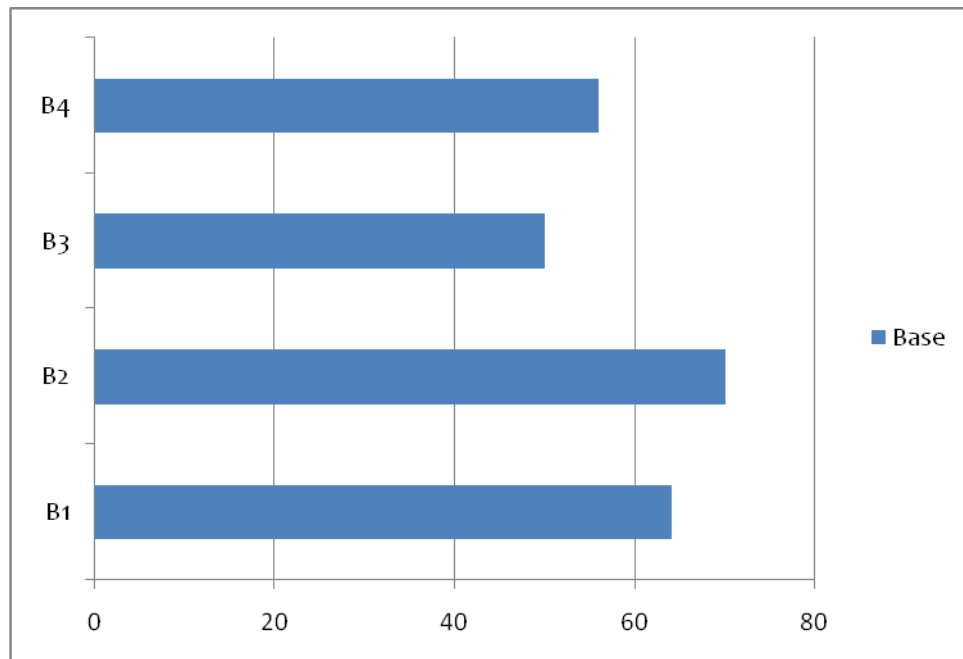


Figura 26. Resultado de la prueba de ordenamiento del diseño factorial 2^2 , donde B1= (-1,-1), B2= (-1,1), B3= (1,-1), B4=(1,1). 1 indica el nivel más alto y -1 el más bajo, para los factores sal y condimento, respectivamente.

Para el sabor chorizo las barras de mayor preferencia fueron C3 y C7, haciendo una revisión de los datos obtenidos la barra C3 fue calificada en primer lugar por un número mayor de panelistas, sin embargo en la suma de sus calificaciones obtuvieron un puntaje similar. La barra C3 tenía el factor “sal”, “condimento” y “saborizante” en el nivel más bajo (-1). La diferencia entre C3 y C7 en la formulación era el contenido de sal, ya que esta última tenía un mayor contenido (nivel 1). Los resultados se muestran en la Figura 27.

En el caso de la barra con sabor chorizo, se observó una mayor tendencia a calificar mejor a los tratamientos que contenían el factor “saborizante” en el nivel más bajo, pese a que las diferencias entre ambos niveles eran del 0.4% fue suficiente para causar desagrado en el consumidor, ya que el nivel alto fue constantemente señalado por dejar un ligero resabio.

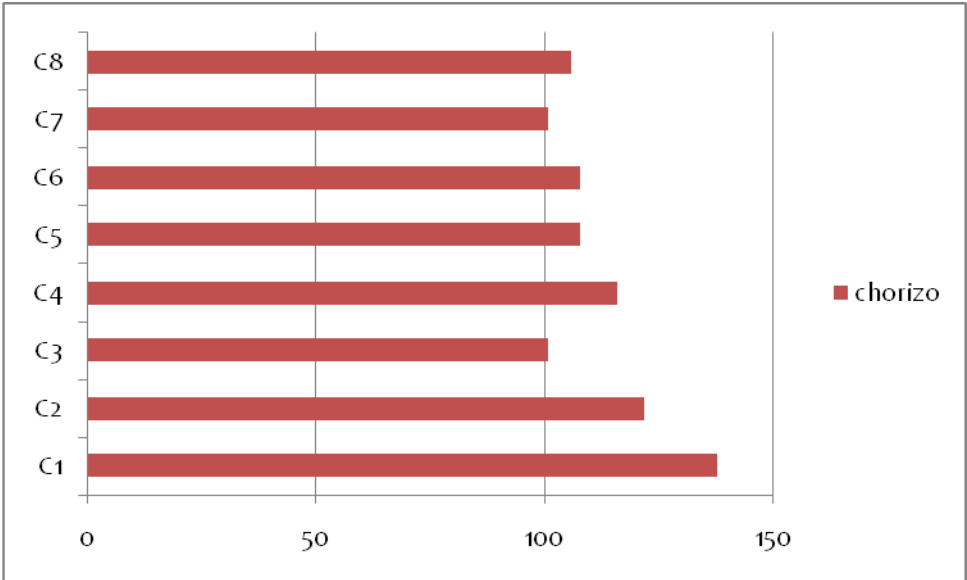


Figura 27. Resultado de la prueba de ordenamiento del diseño factorial 2^3 , donde C1=(-1, -1,-1), C2= (-1,-1,1), C3= (-1,1,-1), C4= (-1,1,1), C5= (1,-1,-1), C6= (1,-1,1), C7= (1,1,-1), C8= (1,1,1); 1 indica el nivel más alto y -1 el más bajo, para los factores sal, condimento y saborizante, respectivamente.

6.1.4.3 Prueba de agrado.

Las formulaciones de las barras que ocuparon el 1° y 2° lugar de cada sabor obtenidas en la prueba de ordenamiento, fueron evaluadas mediante una prueba de agrado, la cual contó con un total de 120 participantes, quienes fueron consumidores elegidos al azar y se empleó una escala hedónica de 7 puntos, que va desde “me disgusta extremadamente” hasta “me gusta extremadamente”. Los resultados se muestran en las Figuras 28-31, donde se graficó la frecuencia de la calificación que otorgaron los consumidores a las diferentes muestras.

Los panelistas evaluaron atributos de sabor (contenido de sal, condimento, intensidad de sabor) y textura (dureza, crujencia), finalmente se les pidió que evaluaran de manera global el producto.

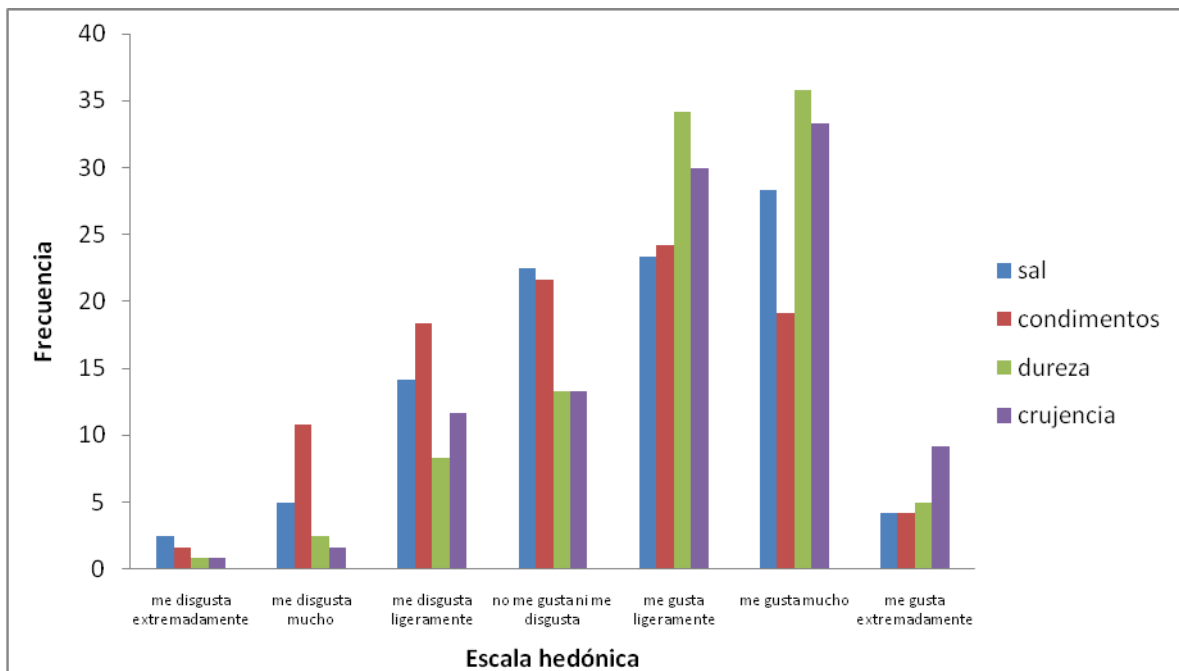


Figura 28. Resultados de la prueba hedónica para sabor BASE, tratamiento B4 (1,1). 1 indica el nivel más alto y -1 el más bajo, para los factores sal y condimento, respectivamente.

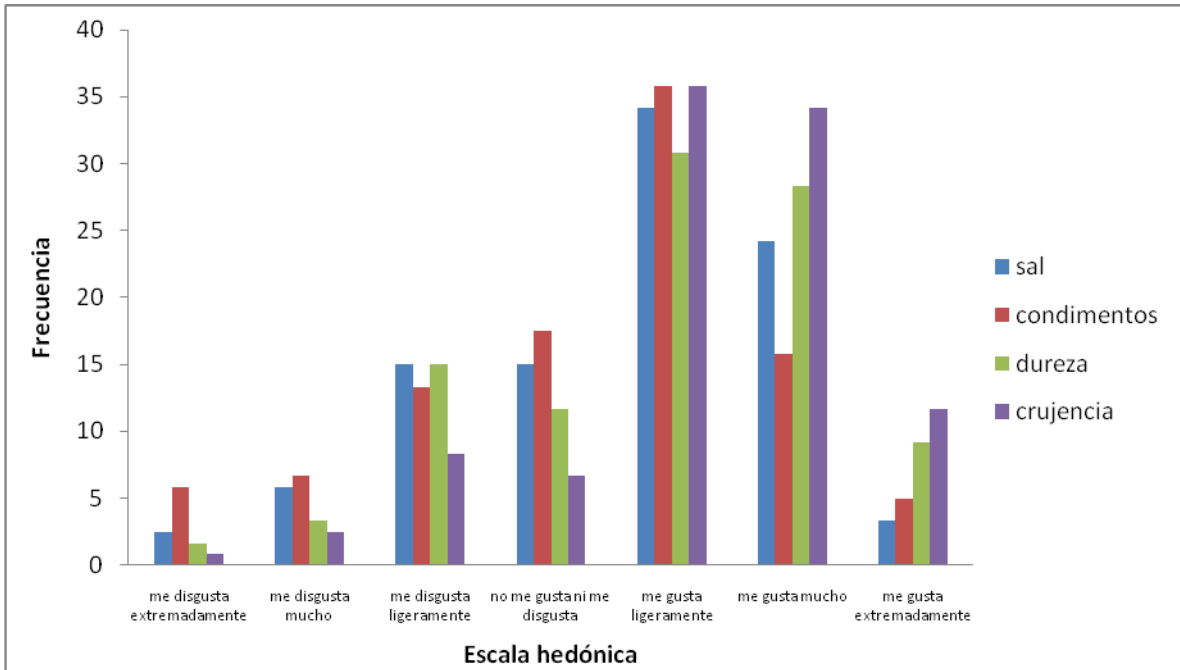


Figura 29. Resultados de la prueba hedónica para la formulación BASE, tratamiento B3 (1,-1) 1 indica el nivel más alto y -1 el más bajo, para los factores sal y condimento, respectivamente.

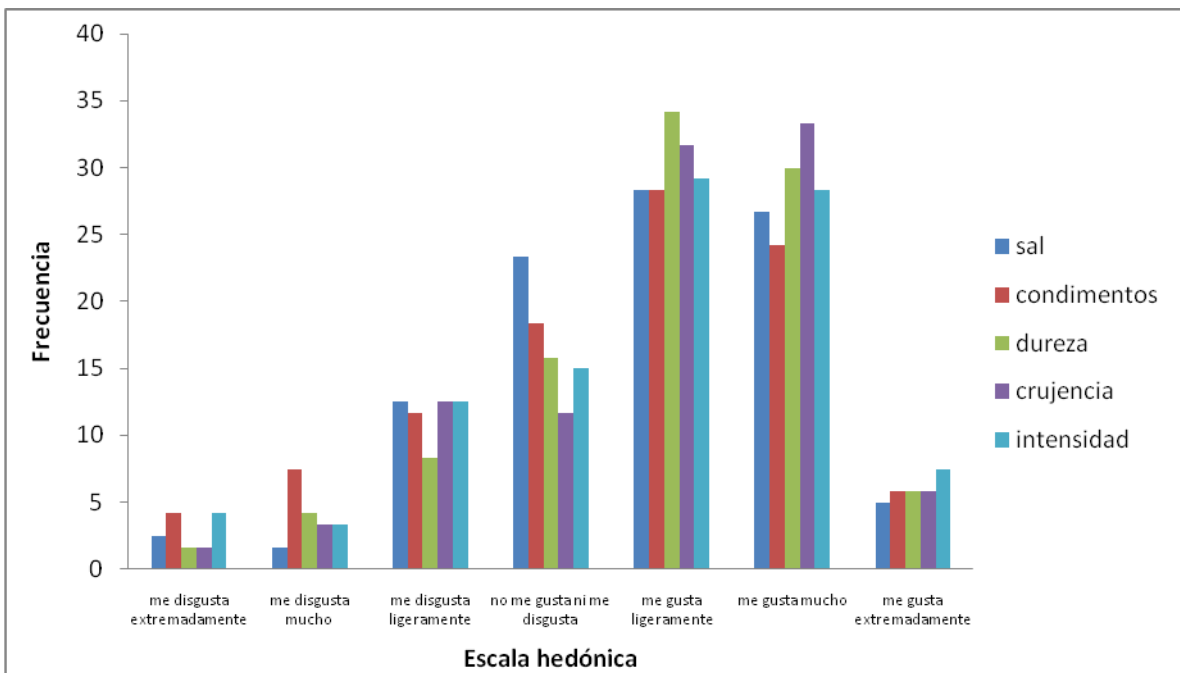


Figura 30. Resultados de la prueba hedónica para la formulación sabor CHORIZO, tratamiento C7 (1,1,-1), donde 1 indica el nivel más alto y -1 el más bajo, para los factores sal, condimento y saborizante, respectivamente.

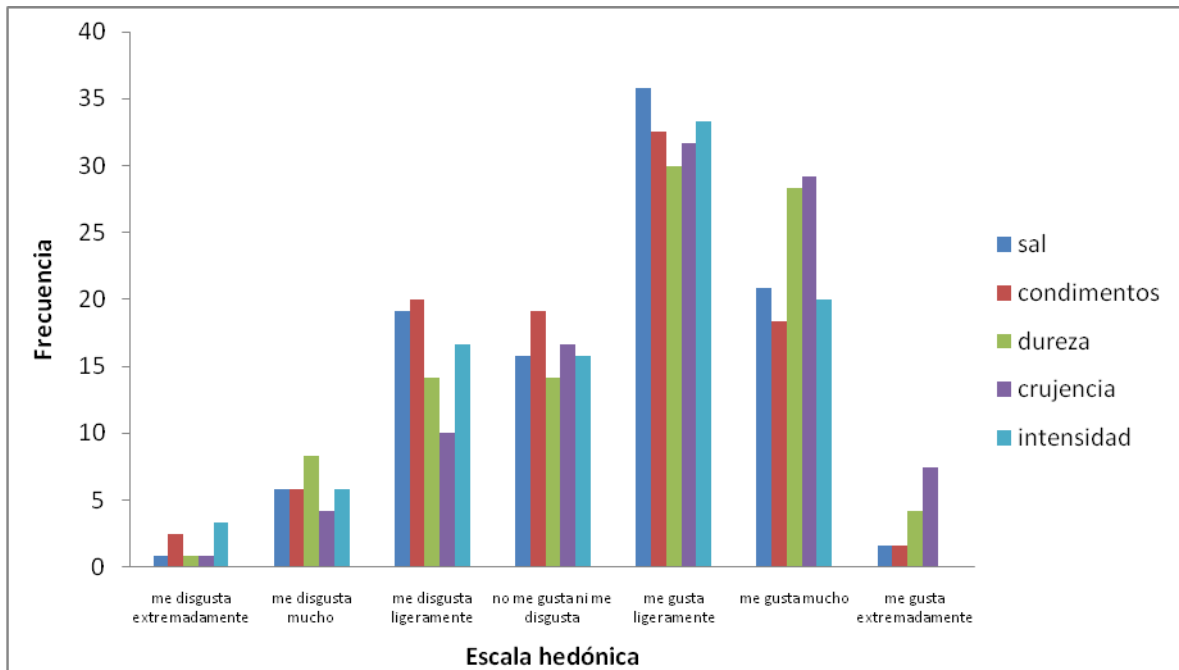


Figura 31. Resultados de la prueba hedónica para la formulación de la barra sabor CHORIZO, tratamiento C3 (-1,1,-1), donde 1 indica el nivel más alto y -1 el más bajo, para los factores sal, condimento y saborizante, respectivamente.

Existe un gran número de escalas balanceadas y no balanceadas, que van desde 3 hasta 9 categorías. Ciertamente es, que cuanto mayor es el número de categorías, más fina es la discriminación en este tipo de estudios, es imposible conseguir un número ideal de categorías dentro de una escala. Sin embargo, los consumidores no pueden manejar más categorías y pautas tradicionales, por lo que el número óptimo de categorías podría estar entre los 5 y 9 (Malhotra, 2006).

En el presente estudio se utilizó una escala de 7 puntos, para facilitar la comprensión por parte del consumidor, la cual incluye un punto central, “no me gusta, ni me disgusta”, en los resultados observamos que todas las muestras cuentan con un 15 – 20 % de las respuestas en esta categoría, algunos autores recomiendan la eliminación del mismo, la razón de su exclusión se debe a que se ha considerado que se trata de las respuestas más fáciles de consumo, una opción de apatía, y si esta opción no es posible, los consumidores se ven obligados a dar una respuesta (Guerrero, 1999).

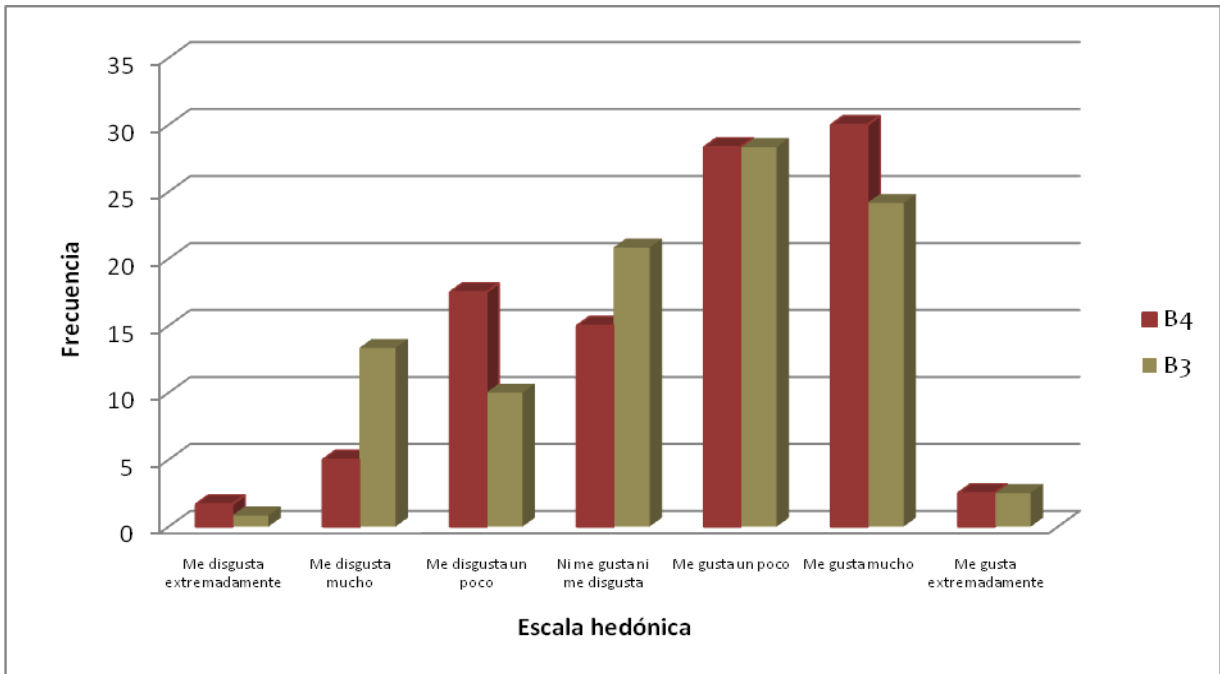


Figura 32. Resultados de la prueba hedónica “Agrado Global” para las formulaciones sabor BASE, B3 (1,-1) y B4 (1,1), donde 1 indica el nivel más alto y -1 el más bajo, para los factores sal, condimento y saborizante, respectivamente.

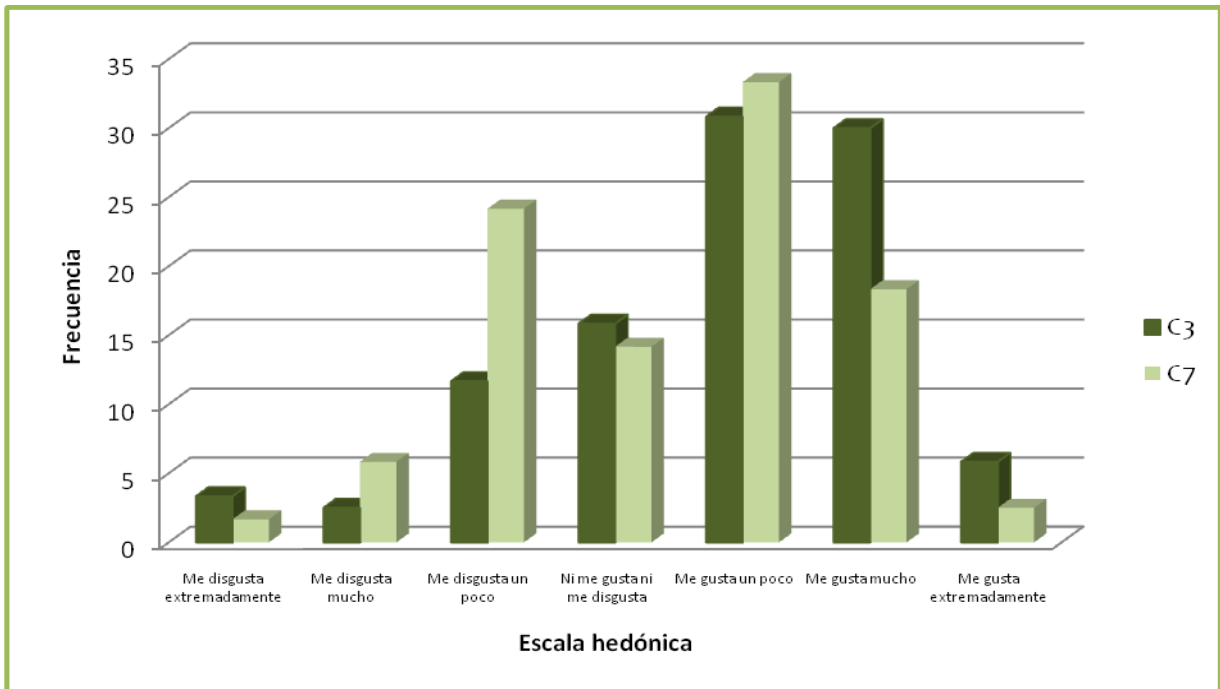


Figura 33. Resultados de la prueba hedónica “Agrado Global” para las formulaciones sabor CHORIZO, C3 (-1,1,-1) y C7 (1,1,-1), donde 1 indica el nivel más alto y -1 el más bajo, para los factores sal, condimento y saborizante, respectivamente.

La evaluación del Agrado Global ayuda a cuantificar el estado afectivo, es decir que tanto le gusta el producto evaluado al consumidor (Figura 32 y 33). El tratamiento B4 obtuvo un 60.83% dentro de las respuestas del lado positivo de la escala (“me gusta ligeramente”, “me gusta mucho” y “me gusta extremadamente”), sin embargo B3 también obtuvo una buena aceptación, ya que al 55% de los consumidores le causo algún nivel de agrado. La barra sabor Chorizo, la diferencia fue igual muy cercana para ambas formulaciones, C3 obtuvo 66.67% y C7 54.17%

Una vez que fueron evaluadas las diferentes muestras se le pidió a cada consumidor que eligieran la de mayor agrado para cada sabor, los porcentajes obtenidos se muestran en la Figura 34. Existiendo diferencia significativa en la elección de estas barras, evaluado bajo la prueba estadística de χ^2 .

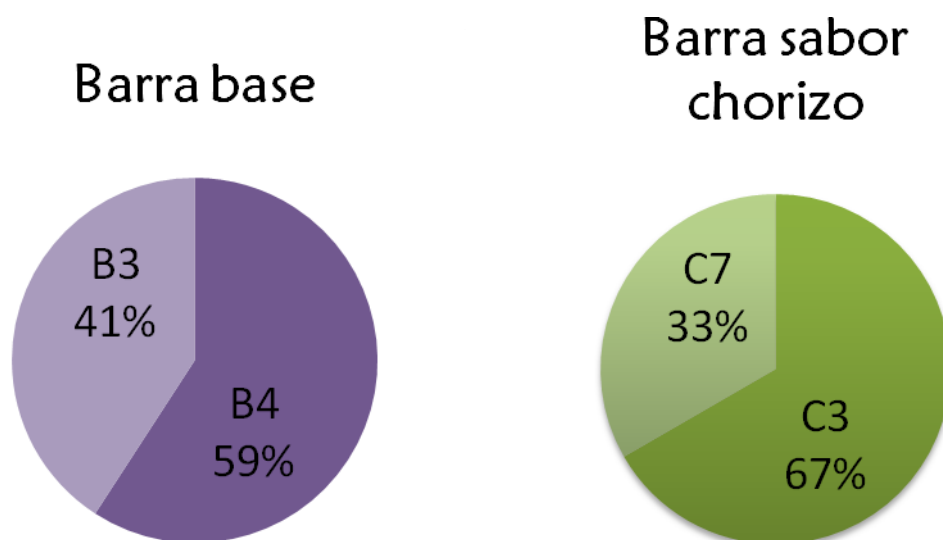


Figura 34. Preferencia del consumidor.

6.1.5 Concepto del producto.

La velocidad creciente con que se incorporan productos al mercado, así como el continuo incremento en la demanda cada vez con características más exigentes, obliga a la industria a elaborar productos especializados que satisfagan estas necesidades, incrementando el número de éstos que son lanzados al mercado.

Una herramienta muy útil para desarrollar productos que satisfagan las necesidades y los deseos de las personas de manera tecnológicamente factible y estratégicamente viable es el Diseño Estratégico. Esta metodología es entendida como la capacidad esencial de combinar la empatía, la creatividad y la racionalidad para satisfacer las necesidades del usuario y traducirse en el éxito de un producto de reciente incorporación al mercado (Brown, 2008).

El diseño estratégico pasa por tres espacios: la inspiración, ideación y aplicación. La inspiración se refiere a la circunstancia (problema de oportunidad), lo cual motiva la búsqueda de soluciones, la ideación constituye al proceso de generar, desarrollar y probar ideas que pueden conducir a soluciones, y la implementación se refiere al trazado del camino en el mercado, además de ser un proceso iterativo que se encuentra en constante evolución. En la Figura 35 se muestran las etapas del diseño estratégico.

El diseño estratégico se basa principalmente en el comportamiento humano, sus necesidades y preferencias, especialmente cuando incluye la investigación basada en la observación directa, a través de ésta se capturarán inesperados descubrimientos y se producirá innovación, la cual refleja con mayor precisión lo que los consumidores quieren.

Ramírez (2010) observó que las barras nutritivas son un excelente vehículo para la incorporación de ingredientes funcionales, lo cual se vio reflejado en el alto contenido nutricional y potencial nutracéutico de la barra de frijol-avena. Sin

embargo, no mostró una buena aceptación por parte del consumidor. Mediante técnicas de diseño estratégico se buscó conocer más a fondo al mercado al que se desea llegar y que el producto satisfaga sus necesidades.

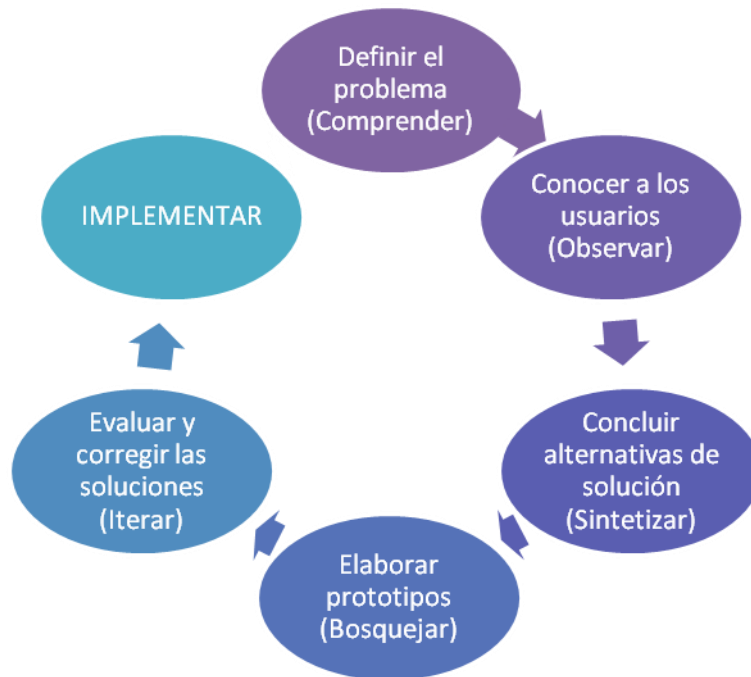


Figura 35. Etapas del Diseño Estratégico.

6.1.5.1 Definir el problema (Comprender).

Para generar datos cualitativos y cuantitativos, se requiere realizar una búsqueda de información secundaria y primaria acerca del tema de interés de manera multidisciplinaria, lo que permite conocer el contexto en el que se está trabajando y encontrar aquellos elementos que ayuden a profundizar en el tema.

Para realizar dicha investigación se recurre al uso de modelos descriptivos, los cuales son representaciones gráficas de la información generada por la investigación previa y se utilizan para mapear los conceptos, es una herramienta que ayuda en la problematización del objeto de estudio. Lo anterior permite establecer conexiones complejas entre dichos elementos de la problemática y es ahí donde surge la línea de innovación.

Se realizó un mapa mental para tener una representación gráfica y contextualizar la investigación, la Figura 36 muestra el resultado, donde se puede englobar la relación que existe entre los hábitos alimenticios y el buen estado de salud de las personas.

El modelo descriptivo empieza por determinar la unidad básica de estudio y de ahí se derivan los elementos y conexiones que resulten producto de la investigación cuanti-cualitativa.

Conforme se obtiene más información se complejiza la investigación, abarcando cada vez más áreas de conocimiento, alcanzando una profundidad Interdisciplinar para su análisis. Esta interdisciplinariedad permite que las futuras soluciones sean congruentes con el contexto planteado (Blackwell *et al.*, 2009).

Se requiere que en base al modelo descriptivo se realice una abstracción de la realidad representada en el mismo, además de agregar catalizadores (lo que piensa, quiere, siente, hace el sujeto y su entorno) en cada uno de los elementos del modelo. Lo anterior permite generar un modelo de análisis el cual nos acerca a la familia de soluciones que puede tener el problema planteado. Por último se generan los prototipos de soluciones, producto de las estrategias planteadas.

De acuerdo a lo mostrado en la Figura 36, se propuso elaborar un producto alimenticio con ingredientes que han sido estudiados y son reconocidos por su potencial nutracéutico, como es el caso del frijol común y la avena, este producto debe ser conveniente, es decir que sea fácil de transportar, pueda consumirse al instante y además sea nutritivo.

6.1.5.2 Conocer al usuario (Observación).

Brown (2008), sostiene que la innovación se alimenta por un conocimiento profundo, a través de la observación directa, sobre lo que le gusta o disgusta a la gente, la forma en que determinados productos se hacen, envasan, comercializan y venden. Además menciona a la innovación como la principal herramienta de diferenciación y ventaja competitiva.

La barra de frijol y avena está dirigida a personas entre 18 y 35 años, debido a que son personas que se preocupan por lo que consumen, como se puede apreciar en las encuestas realizadas a los grupos de enfoque. La Figura 37 describe al consumidor potencial.

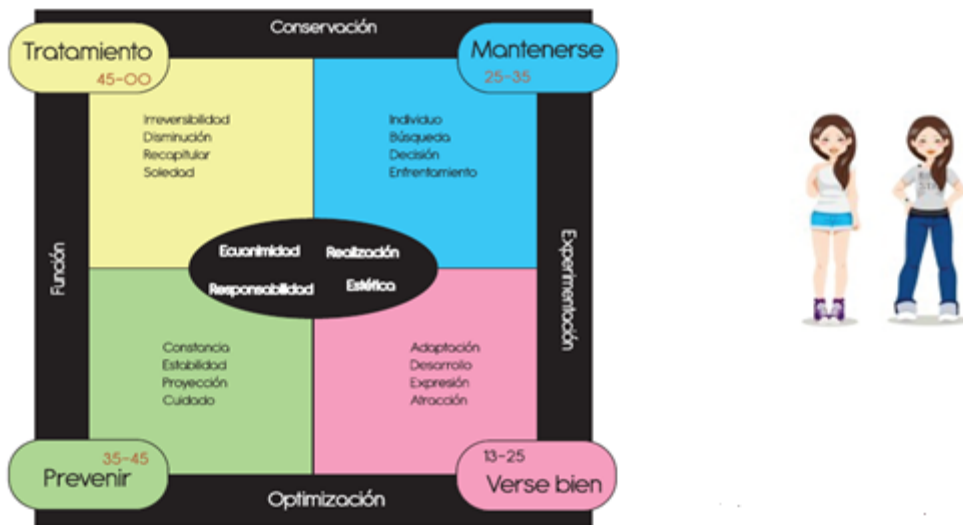


Figura 37. Descripción del consumidor.

Se propuso dividir el periodo de vida de una persona (después de la infancia) en cuatro etapas 13-25 años se da el paso de adolescencia a adulto joven, donde el individuo busca verse bien, lo que involucra una etapa de desarrollo físico, emocional, intelectual. La segunda, entre 25-35 años la persona desea mantenerse en forma, y es el momento de toma de decisiones que influyen el resto de su vida, ya que comienza a ser mas consiente en aspectos de salud, además busca su realización personal y profesional. En la siguiente etapa 35-45

años se propuso como un periodo donde, ya que a partir de esta edad el deterioro físico se da con mayor repercusión y la cuarta etapa de 45 años en adelante, donde el individuo a los 60 años llega a la tercera edad y senectud.

6.1.5.3 Concluir alternativas (Sintetizar).

Se elaboró un producto nutritivo, una opción salada para el consumidor, utilizando ingredientes que ofrecen un beneficio a la salud, y que además permita retomar alimentos de gran tradición culinaria en nuestro país, como es el caso del frijol común (Figura 38).



Figura 38. Síntesis del mapa mental.

6.1.5.4 Elaborar prototipos (Bosquejar).

Se reformuló el producto desarrollado por Ramírez (2010), además se utilizaron diferentes sabores (queso con chile, queso, chorizo, hierbas finas).

6.1.5.5 Evaluar y corregir (Iterar).

Para llevar a cabo este paso, se recurrió a evaluaciones sensoriales mostradas en el apartado anterior, se tomaron en cuenta las opiniones expresadas por los participantes en las etapas anteriores, se logró mejorar las formulaciones lo que permitió posicionarlo dentro del gusto del consumidor.

6.1.5.6 Implementar.

El producto mostró gran aceptación por parte del consumidor, al realizar pruebas más exhaustivas donde el consumidor tuvo una mayor interacción con el producto, se pudo observar que expresa que es un sabor agradable y le gustaría acompañarlo con algún otro alimento. La Figura 39 sintetiza las respuestas de los grupos de enfoque, quienes evaluaron el producto. Obteniendo así información referente a productos similares en el mercado y la forma en la que le gustaría consumir la barra.

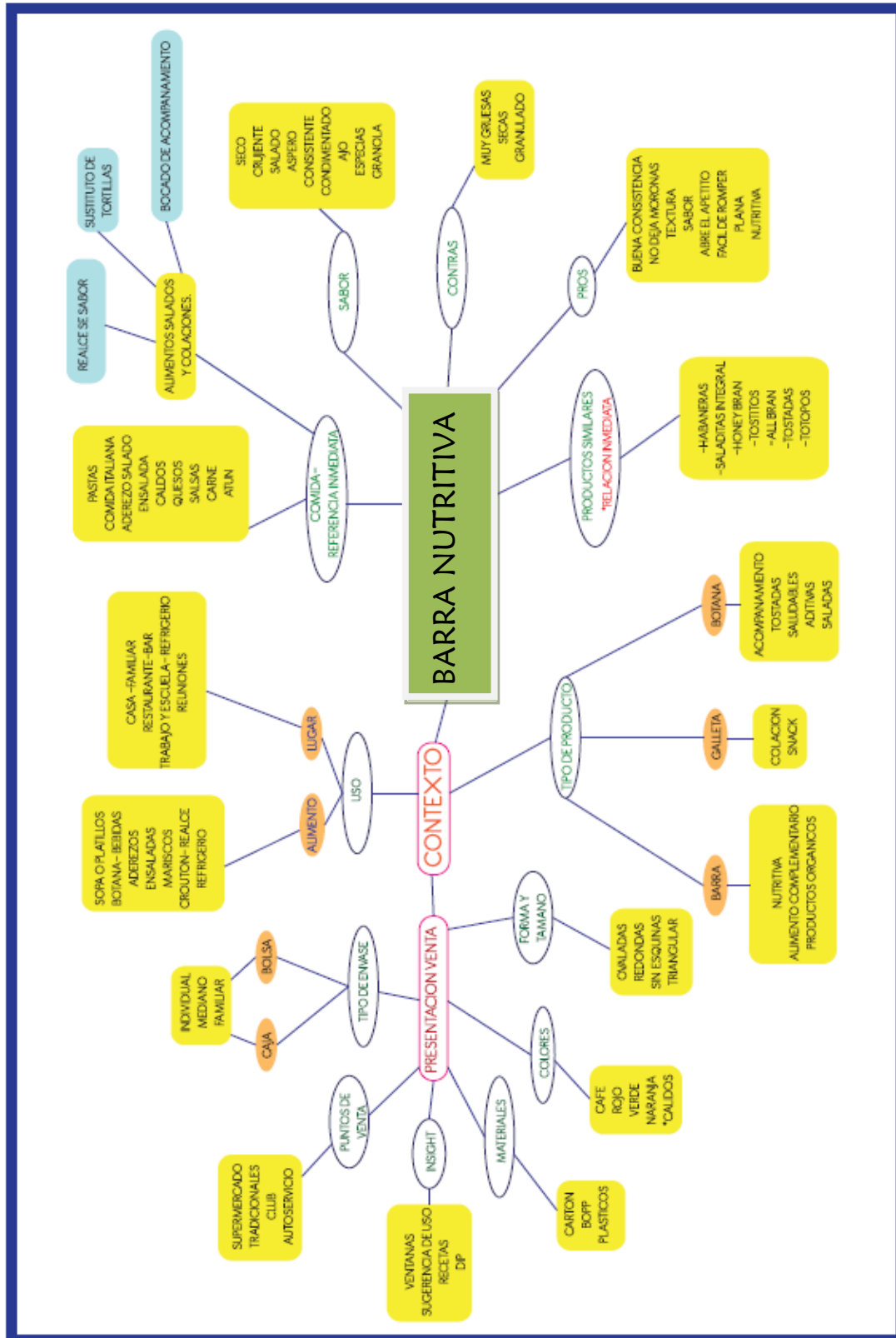


Figura 39. Mapa grupo de enfoque con consumidores.

6.2 Caracterización química de los ingredientes mayoritarios de la formulación y del producto final.

6.2.1 Análisis proximal.

En el Cuadro 10 se muestran los resultados obtenidos en el análisis proximal de los ingredientes mayoritarios de la formulación de la barra de frijol y avena, así como el producto final. Para la barra sabor chorizo (C3) no se realizó la caracterización química completa, debido a que la diferencia en la formulación para C3 y B4 fue 0.4 % de harina de avena, el resultado de proteína no muestra diferencia significativa entre ambas formulaciones, lo que sugiere que el contenido químico es similar.

Cuadro 10. Composición proximal de frijol común crudo, harina de frijol (Bayo Madero) y harina de avena y barra base.

MUESTRA	% PROTEINA	% LIPIDOS	% CENIZAS	% HUMEDAD	% CARBOHIDRATOS*
FC	21.12 ± 0.47 ^a	1.27 ± 0.03 ^c	4.29 ± 0.09 ^a	9.16 ± 0.20 ^c	64.15 ± 0.35 ^b
FL	21.88 ± 0.24 ^a	1.27 ± 0.03 ^c	4.29 ± 0.04 ^a	1.08 ± 0.02 ^e	71.43 ± 0.22 ^a
HF	22.52 ± 0.80 ^a	1.26 ± 0.25 ^c	4.09 ± 0.17 ^a	11.65 ± 0.11 ^b	60.38 ± 0.30 ^c
HA	11.81 ± 0.03 ^c	8.39 ± 0.08 ^b	3.88 ± 0.16 ^a	13.16 ± 0.08 ^a	63.53 ± 0.12 ^b
B4	19.25 ± 0.20 ^b	10.05 ± 0.23 ⁱ	1.42 ± 0.03 ^b	3.28 ± 0.048 ^b	60.57 ± 0.37 ^c
C3	19.36 ± 0.46 ^b	ND	ND	ND	ND

FC= frijol crudo bayo madero, FL= frijol cocido liofilizado bayo madero, HF = harina de frijol cocido bayo madero, HA= avena molida, B4 = barra base mezcla de frijol y avena, C3= barra frijol-avena sabor chorizo. ND= No determinado. Los resultados representan la media de tres experimentos independientes ± el error estándar. Letra diferente indica diferencia significativa entre medias en la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$) *El contenido de Carbohidratos se obtuvo por diferencia de peso.

Los valores de proteína se encuentran dentro de lo reportado por Reyes-Moreno y Paredes-López (1993) en el intervalo de 20.3-29% para diferentes variedades cultivadas en México, en un estudio realizado con la variedad Bayo Madero se reportaron valores de 21.6 ± 0.01 (Meza, 2011) lo cual concuerda con lo reportado en el presente trabajo de 21.12 ± 0.47 %.

El porcentaje de lípidos se encuentra dentro de lo reportado por Paredes-López *et al.*, (2006), es importante resaltar que los lípidos presentes en el frijol crudo son ácidos grasos saturados e insaturados.

El contenido de cenizas para frijol y frijol tratado térmicamente se encuentra dentro del intervalo de 4.09 a 4.29 % reportado para esta misma variedad (Ramírez, 2010; Meza, 2011; Vergara, 2011), así como para otras variedades de *P. vulgaris* (Paredes-López *et al.*, 2006; Feregrino-Pérez *et al.*, 2008).

Ramírez (2010) elaboró una barra horneada de frijol común y avena, la cual tenía un contenido de proteína de 12.63 ± 0.04 % y 14.91 ± 0.26 % de lípidos, con respecto a la formulación desarrollada en el presente trabajo se logró un incremento de casi el 7.5 % en el contenido de proteína y una disminución de casi el 5% en el contenido de lípidos.

6.2.2 Digestibilidad de proteína *in vitro*.

La digestibilidad de proteínas es un parámetro para evaluar la disponibilidad y utilización de las mismas, la cuál es afectada por la presencia de algunos componentes de las leguminosas (Nielson, 1991). Los métodos de digestibilidad *in vitro* de proteínas evalúan el grado o la velocidad de hidrólisis, la reacción se lleva a cabo mediante enzimas que actúan sobre un sustrato con una concentración conocida de proteínas, donde se lleva a cabo una hidrólisis de las cadenas polipeptídicas presentes, provocando la liberación de grupos carboxilo que producirán una caída en el pH de la solución (Hsu *et al.*, 1997). En la Figura 40 se muestran los resultados obtenidos en la prueba de digestibilidad proteica *in vitro*.

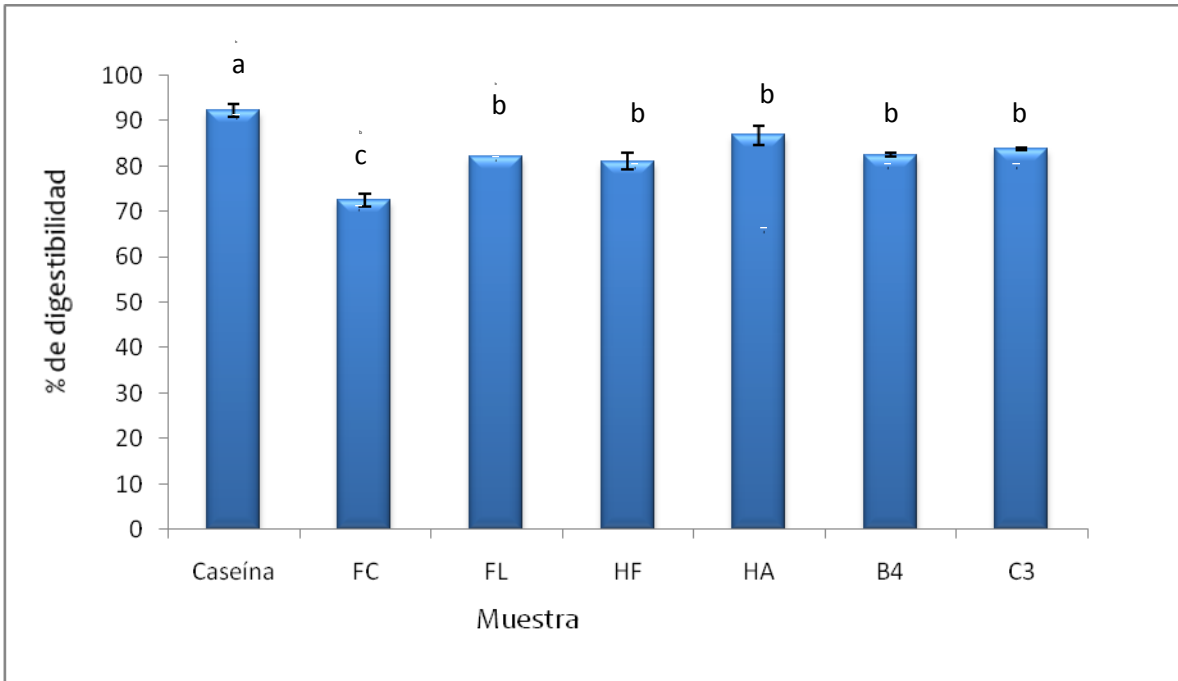


Figura 40. Digestibilidad de proteínas *in vitro* de las materias primas principales y el producto final. FC= frijol crudo bayo madero, FL= frijol cocido liofilizado bayo madero, HF = harina de frijol cocido bayo madero, HA= avena molida, B4 = barra base mezcla de frijol y avena, C3= barra frijol-avena sabor chorizo. Los resultados representan la media de tres experimentos independientes \pm el error estándar. Letra diferente indica diferencia significativa entre medias en la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).

Los resultados muestran un incremento en la digestibilidad de la proteína de la leguminosa al ser sometida a procesos térmicos, ya que pasó del 72% para frijol crudo y ésta llegó a un valor de 82% después de ser sometido a cocción, lo que se puede atribuir a la presencia de factores antinutricios presentes en el frijol crudo que pudieran funcionar como inhibidores para enzimas proteolíticas. Las formulaciones de la barra de frijol y avena tienen un porcentaje de digestibilidad alto del 82% lo que sugiere que la mayoría de la proteína puede ser digerida en el tracto gastrointestinal. Además de que no existe diferencia significativa con el resto de las materias primas.

Las proteínas que se encuentran en mayor proporción en el frijol común son la albúmina y algunas globulinas, las cuales muestran una digestibilidad *in vitro* de 79.2 y 73.2 %, respectivamente (Boye *et al.*, 2010).

6.3 Caracterización nutracéutica de los ingredientes mayoritarios de la formulación y del producto final.

6.3.1 Cuantificación de compuestos fenólicos.

El contenido de flavonoides y taninos condensados de frijol crudo, frijol cocido, harina de frijol, harina de avena y el producto final, se muestran en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Contenido de flavonoides y taninos condensados de frijol crudo Bayo Madero, harina de frijol (Bayo Madero), harina de avena, barra base y barra sabor chorizo.

MUESTRA	% FLAVONOIDES	% TANINOS CONDENSADOS
	$\mu\text{g eq. rutina /g muestra}$	$\text{mg eq. (+)-Catequina/g muestra}$
FC	0.093 ± 0.01^a	8.53 ± 0.24^b
FL	0.092 ± 0.01^a	8.75 ± 0.24^b
HF	0.096 ± 0.01^a	8.92 ± 0.56^b
HA	0.012 ± 0.01^b	1.26 ± 0.17^c
B4	0.084 ± 0.01^a	12.46 ± 0.42^a
C3	0.080 ± 0.01^a	ND

FC= frijol crudo bayo madero, FL= frijol cocido liofilizado bayo madero, HF = harina de frijol cocido bayo madero, HA= avena molida, B4 = barra base mezcla de frijol y avena, C3= barra sabor chorizo. ND= No determinado. Los resultados representan la media de tres experimentos independientes \pm el error estándar. Letra diferente indica diferencia significativa entre medias en la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$)

La concentración de taninos condensados para frijol común variedad Bayo Madero crudo fue de 8.53 mg eq (+)-Catequina/ g de muestra, coincide con lo reportado por Vergara (2011), Ramírez (2010), Pineda (2009) $8.15 + 0.10 - 5.68 + 0.08$ mg eq, para esta misma variedad de frijol. El contenido de flavonoides se encuentra por debajo de lo reportado por Meza (2011) para esta misma variedad de frijol $0.1113 \mu\text{g eq rutina/g}$ de muestra.

La concentración de flavonoides en el producto final se encuentra por debajo de lo reportado para la barra L30 que fue de 0.564 ± 0.50 mg eq. rutina /g,

en cuanto al contenido de taninos condensados 8.94 ± 0.11 mg eq. (+)-Catequina/g, el valor es superior al encontrado por Ramírez (2010) en la barra horneada de frijol-avena. Las diferencias que pueden ser atribuidas a las condiciones de cultivo, además que el contenido de compuestos fenólicos se ve afectado por condiciones ambientales (Florez *et al.*, 2009).

6.3.2 Cuantificación de Fibra dietética y Almidón resistente.

En el Cuadro 12 se presenta el contenido de fibra dietética (soluble e insoluble) y almidón resistente, para las materias primas principales y el producto final.

Cuadro 12. Contenido de fibra dietética total, soluble, insoluble y almidón resistente de frijol crudo Bayo Madero, harina de frijol (Bayo Madero), harina de avena, barra base y barra sabor chorizo.

MUESTRA	FIBRA DIETÉTICA TOTAL (%)	FIBRA INSOLUBLE (%)	FIBRA SOLUBLE (%)	ALMIDÓN RESISTENTE (%)
FC	39.61 ± 0.31^a	31.69 ± 0.24^a	7.93 ± 0.21^a	1.18 ± 0.02^d
FL	38.03 ± 0.61^a	28.72 ± 0.48^a	9.32 ± 0.13^a	2.32 ± 0.05^b
HF	38.90 ± 0.55^a	29.78 ± 0.48^a	9.12 ± 0.07^a	3.77 ± 0.08^a
HA	13.51 ± 0.56^c	9.05 ± 0.91^c	4.46 ± 0.35^b	1.98 ± 0.04^c
B4	30.38 ± 0.41^b	22.67 ± 0.25^b	7.70 ± 0.66^a	1.75 ± 0.03^c
C3	31.82 ± 2.075^b	22.85 ± 1.32^b	8.97 ± 0.74^a	1.73 ± 0.03^c

FC= frijol crudo bayo madero, FL= frijol cocido liofilizado bayo madero, HF = harina de frijol cocido bayo madero, HA= avena molida, B4 = barra base mezcla de frijol y avena, C3= barra frijol-avena sabor chorizo. Los resultados representan la media de tres experimentos independientes \pm el error estándar. Letra diferente indica diferencia significativa entre medias en la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$)

Los resultados de fibra dietética total, insoluble y soluble, se encuentran dentro de lo reportado por Bednar *et al.* (2001), quien evaluó diferentes variedades de *Phaseolus vulgaris L.* encontrando un contenido de fibra soluble de 0 - 3.2%, fibra insoluble en un intervalo de 36.2 - 39.4 % y fibra dietética total de 36.2 – 42.6%.

La avena entera (*Avena sativa*) contiene aproximadamente 13% de fibra (Leonard y Martin 1963), parte de la cual es fibra soluble mayoritariamente son β -glucanos (Wood 1993). Las hojuelas de avena contienen al menos 5.5 % de β -glucanos, 16% de fibra dietaria y un tercio de la cuál es soluble (AACC 1989). La cantidad de fibra soluble es importante por los beneficios a la salud, fue primeramente reconocida por DeGroot *et al.* (1963) por el efecto hipocolesterolémico. El efecto positivo en la salud ha sido reportado por diversos autores. (Anderson y Chen 1979; Kirby *et al.*, 1981; Shinnick *et al.*, 1988; Ridker *et al.*, 2001).

Las leguminosas han sido utilizadas para enriquecer productos, Ryland *et al.*, (2010) utilizaron lentejas micronizadas como ingrediente en barras alimenticias, observaron un incremento en el contenido de fibra dietética total respecto a un control que elaborado con avena y trigo.

El producto desarrollado por Ramírez (2010) muestra un contenido de fibra dietética total de 20.84%, fibra soluble e insoluble de 3.65% y 17.54%, respectivamente. Lo que conlleva a demostrar claramente que la reformulación del producto incrementó estos valores, debido a que se utilizó 6% más de harina de frijol y 4.7% más harina de avena. Lo cual es importante debido a las propiedades benéficas que se atribuyen a la fibra dietética.

Vargas-Torres *et al.* (2004) reportan valores de almidón resistente entre 1.59 y 3.08 para diferentes variedades de frijol Negro, los autores observaron además que la variedad cobra importancia, así como ha sido reportado por otros autores (Velasco *et al.*, 1997).

Además el método empleado en el presente trabajo determina el contenido de almidón resistente correspondiente a la fracción de almidón retrogradado (tipo 3), pues el almidón nativo (tipo 2) que pudiera estar presente se gelatiniza durante el tratamiento con α -amilasa termoestable a 100 °C y el almidón inaccesible (tipo 1) se elimina al someter la muestra a un proceso de molienda (Saura-Calixto *et al.*, 1993). Osorio-Pérez (2006) reportó un contenido de 3.1% empleando el mismo método, para frijol cocido cv Mayocoba cocido.

6.4 Aporte calórico.

La barra de frijol-avena tiene un aporte calórico de 309 cal/ 100 g. Con respecto a los productos que se encuentran en el mercado, las barras sin relleno muestran un aporte energético entre 452 – 463 cal/100 g, lo que indica que la barra de frijol y avena se encuentra en el límite inferior de este rango, sin embargo los productos comerciales tienen un alto contenido de lípidos entre 10.62 -26.31%, siendo comparable con la formulación desarrollada en la presente investigación, este valor es importante debido a que los lípidos son los macronutrientes que tienen mayor aporte de energía (9 cal/g). La proteína aporta 4 cal/g, la barra de frijol y avena tiene un contenido de 19%, en contraste con los productos que se ofertan en la actualidad que va desde 5-11%.

6.5 Estabilidad en almacenamiento.

Un alimento es un sistema fisicoquímico y biológico activo, por lo que la calidad del mismo es un estado dinámico que se mueve hacia niveles más bajos con respecto al tiempo (García y Molina, 2008).

El Instituto de Ciencia y Tecnología definió la vida útil de un alimento, como el tiempo en que producto alimenticio sigue siendo seguro, conserva las características sensoriales, químicas, físicas, microbiológicas deseadas y cumple con las especificaciones nutrimentales declaradas en la etiqueta siempre y cuando el alimento sea almacenado en las condiciones recomendadas (IFST, 1993). Debido a esto es importante determinar este periodo de tiempo, para que siga siendo seguro y no sea rechazado por el consumidor.

Para determinar la vida útil, es necesario identificar las reacciones químicas o biológicas que alteren de manera significativa la calidad y seguridad del alimento (Casp y April, 1999).

6.5.1 Adición de un conservador.

El producto desarrollado por Ramírez (2010) mostró una reducida vida de anaquel, razón por la cual se consideró importante adicionar un conservador, que inhibiera el desarrollo de microorganismos, se utilizó propionato de sodio en diferentes concentraciones, en la Figura 41 se muestra la isoterma de sorción del producto final.

Pese a que no se pudo completar la isoterma de sorción, ya que las muestras que se encontraban a una Humedad Relativa por encima del 84% tuvieron desarrollo de hongos, las muestras con el 0.05 % del conservador mostraron este desarrollo hasta la última semana del experimento. Las muestras que no tenían el conservador en la formulación exhibieron desarrollo de microorganismos en la primera semana y la muestra con 0.025 % en la segunda semana. Por lo que se sugiere utilizar 0.05 % del conservador, ya que fue la concentración que mostró un retraso en el desarrollo de microorganismos, además que si el producto se encontrara en esas condiciones extremas de humedad relativa, se esperaría que el empaque funcionara como barrera para impedir que la muestra se deteriore, además que la barra sería rechazada por cambios sensoriales como la pérdida de textura.

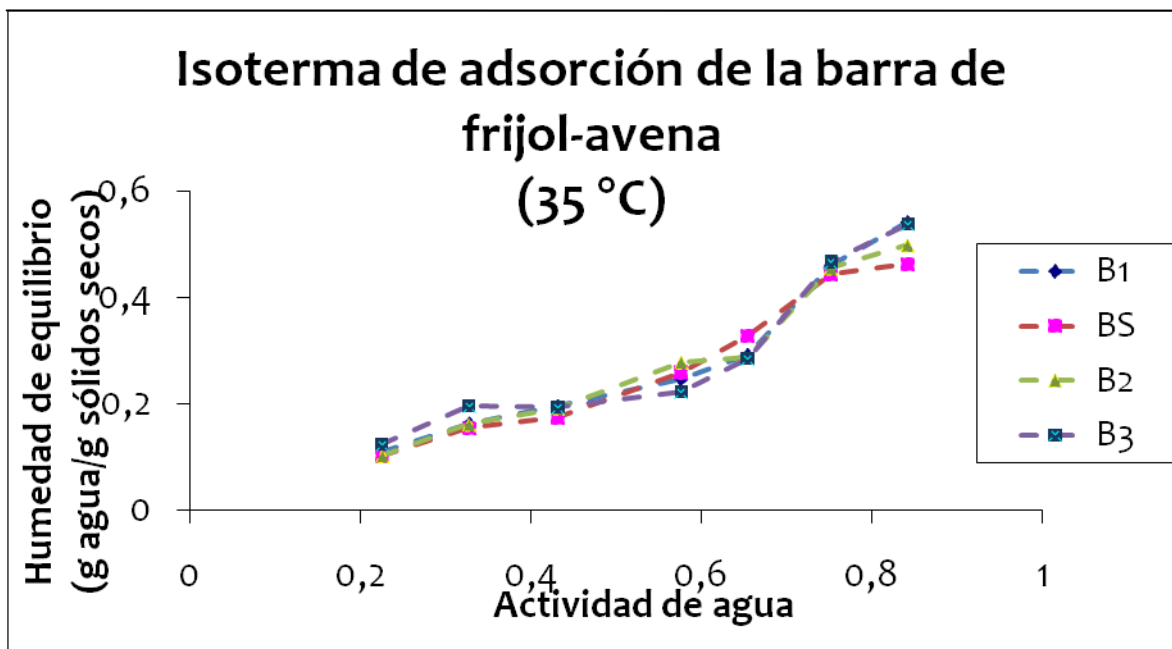


Figura 41. Isoterma de adsorción para el producto final a una temperatura de 35°C. B1 = barra base sin conservador, BS= barra sabor chorizo sin conservador, B2 = barra base con 0.025% de propionato de sodio, B3 = barra base con 0.05% de propionato de sodio. Los resultados representan la media de dos experimentos independientes.

La actividad de agua en ambas barras es muy baja y logra impedir el desarrollo de microorganismos y minimizar condiciones para llevar a cabo reacciones de Maillard en el producto.

6.5.2 Pruebas de vida acelerada.

Una forma de determinar la vida útil de un producto es mediante pruebas de vida acelerada, la cual consiste en incubar el alimento en condiciones controladas y utilizar diferentes temperaturas, que sean mayores a la temperatura de almacenamiento para observar las reacciones de deterioro en un menor tiempo.

6.5.2.1 Textura.

Las botanas saladas necesitan evitar el menor contacto posible con la humedad, para conservar propiedades de textura y sabor, por lo que requieren

empaques que prevengan el paso de humedad y que ésta entre en contacto con el producto (Jenkins y Harrington, 1991).

En el Cuadro 13 se muestran los resultados obtenidos de la prueba de corte para muestras sin almacenar y almacenadas a 45 °C por 42 días en dos materiales de empaque, se puede observar que no existe diferencia estadística significativa, lo que sugiere que el empaque tenía un sellado adecuado y sirvió como barrera para evitar la entrada de humedad y afectar la dureza del producto.

En el caso de la crujencia, la barra base recién elaborada muestra un valor más alto que el resto de las muestras, con respecto a la barra de chorizo sin almacenar existe una diferencia significativa, la cual puede atribuirse a la adición de saborizante, ya que se aplica en la superficie después del horneado.

Cuadro 13. Parámetros de textura de barras de frijol y avena, almacenadas en diferentes empaques y sin almacenar, obtenidos mediante la prueba de corte.

MUESTRA	DUREZA (Kgf)	CRUJENCIA
B4	7.37 ± 0.48 ^a	5.43 ± 0.36 ^a
B4m	7.15 ± 0.49 ^a	2.66 ± 0.33 ^b
B4c	7.22 ± 0.69 ^a	3.16 ± 0.40 ^b
C3	7.19 ± 0.35 ^a	3.71 ± 0.35 ^b
C3m	6.67 ± 0.94 ^a	3.0 ± 0.00 ^b
C3c	8.4 ± 1.89 ^a	3.57 ± 0.20 ^b

B4 = barra base sin almacenar, B4m = barra base almacenada empaque metalizado, B4c = barra base almacenada empaque celofán, C3 = barra sabor chorizo sin almacenar, C3m = barra sabor chorizo empaque metalizado, C3c = barra sabor chorizo almacenada empaque celofán. Los resultados representan la media de seis experimentos independientes ± el error estándar. Letra diferente indica diferencia significativa entre medias en la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$)

Loveday *et al.* (2009) estudiaron el endurecimiento en barras con un contenido de proteína del 20%, donde la el ingrediente principal era concentrado de proteína de leche (denominado MPC). El tiempo de almacenamiento para ese estudio fue 60 días a 20 °C. Concluyeron que los cambios fisicoquímicos (incluyendo una reducción en la movilidad molecular) y químicos tenían un efecto menor en el producto.

6.5.2.2 Color.

Otro aspecto importante en cuanto a las propiedades físicas del producto final que pudiera verse afectado por el almacenamiento, es el color de la barra de frijol-avena. Se evaluó el efecto del almacenamiento sobre este parámetro utilizando dos temperaturas 35 y 45 °C, durante 42 días. Los resultados obtenidos para la barra base se muestran en los Cuadros 14 y 15.

Cuadro 14. Efecto de la temperatura sobre el color de barras sabor base almacenadas a 35 °C.

Muestra	*L	a	b
B4	54.83 ± 0.46 ^a	7.74 ± 0.22 ^a	23.15 ± 0.42 ^a
B4c	52.78 ± 0.51 ^{a,b}	8.92 ± 0.41 ^a	23.64 ± 0.56 ^a
B4m	53.82 ± 0.13 ^a	8.74 ± 0.11 ^a	23.08 ± 0.43 ^a

B4 = barra base sin almacenar, B4m = barra base almacenada empaque metalizado, B4c = barra base almacenada empaque celofán. Temperatura de almacenamiento 35°C. Los resultados representan la media de seis experimentos independientes ± el error estándar. Letra diferente indica diferencia significativa entre medias en la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).

Cuadro 15. Efecto de la temperatura sobre el color de barras sabor base almacenadas a 45 °C.

Muestra	*L	a	b
B4	54.83 ± 0.46 ^a	7.74 ± 0.22 ^b	23.15 ± 0.42 ^b
B4c	51.51 ± 0.62 ^b	9.53 ± 0.08 ^a	25.15 ± 0.36 ^a
B4m	51.29 ± 0.56 ^b	9.92 ± 0.29 ^a	24.89 ± 0.43 ^{a,b}

B4 = barra base sin almacenar, B4m = barra base almacenada empaque metalizado, B4c = barra base almacenada empaque celofán. Temperatura de almacenamiento 45°C. Los resultados representan la media de seis experimentos independientes ± el error estándar. Letra diferente indica diferencia significativa entre medias en la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).

A una temperatura de almacenamiento de 35 °C de manera general se puede observar que las barras conservan los valores en las coordenadas cromáticas de luminosidad (L*), sin embargo las barras almacenadas a 45 °C presentan diferencia significativa con respecto a la luminosidad, esto significa que hay una tendencia a disminuir su valor, lo que representa un producto más opaco. Es importante observar que el empaque laminado presenta una menor disminución de este valor con respecto al producto empacado en bolsa de celofán.

Para la coordenada cromática a, la cual representa coloraciones verde/rojo, la barra base incrementa su valor sin llegar a ser un cambio significativo, se puede observar que a una temperatura mayor el cambio es más grande. Para la barra sabor chorizo el valor de a, se reduce.

La coordenada cromática b representa coloraciones azul/amarillo en el caso de la barra base almacenada a 35°C no muestra ningún cambio, sin embargo al ser almacenadas a 45°C tiene una tendencia a incrementar su valor.

Se realizó la comparación de los productos recién elaborados no existe diferencia estadística para los valores de *L y a, sin embargo la barra sabor chorizo presenta una coloración más amarillenta con respecto a la barra base de acuerdo a los valores de la coordenada b, la cual si presentó diferencia estadística. Los Cuadros 16 y 17 muestran los resultados para la barra sabor chorizo en ambas temperaturas.

Cuadro 16. Efecto de la temperatura sobre el color de barras sabor chorizo almacenadas a 35 °C.

Muestra	*L	a	b
C3	54.98 ± 0.35 ^a	8.59 ± 0.27 ^a	25.25 ± 0.20 ^a
C3c	54.91 ± 0.24 ^a	8.23 ± 0.18 ^a	23.58 ± 0.62 ^{a,b}
C3m	54.82 ± 0.65 ^a	8.32 ± 0.21 ^a	23.27 ± 0.27 ^b

C3 = barra sabor chorizo sin almacenar, C3m = barra sabor chorizo empaque metalizado, C3c = barra sabor chorizo almacenada empaque celofán. Temperatura de almacenamiento 35°C. Los resultados representan la media de seis experimentos independientes ± el error estándar. Letra diferente indica diferencia significativa entre medias en la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).

Cuadro 17. Efecto de la temperatura sobre el color de barras sabor chorizo almacenadas a 45 °C.

Muestra	*L	a	b
C3	54.98 ± 0.35 ^a	8.59 ± 0.27 ^a	25.25 ± 0.20 ^a
C3c	53.21 ± 0.29 ^{a,b}	8.24 ± 0.23 ^a	23.45 ± 0.45 ^{a,b}
C3m	53.64 ± 0.50 ^b	8.54 ± 0.15 ^a	22.95 ± 0.64 ^b

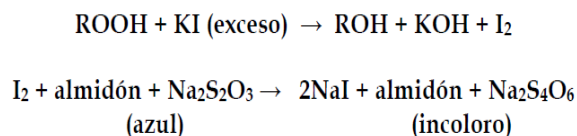
C3 = barra sabor chorizo sin almacenar, C3m = barra sabor chorizo empaque metalizado, C3c = barra sabor chorizo almacenada empaque celofán. Temperatura de almacenamiento 45°C. Los resultados representan la media de seis experimentos independientes ± el error estándar. Letra diferente indica diferencia significativa entre medias en la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).

La barra sabor chorizo presenta una disminución en los valores de las coordenadas de color, sin embargo el cambio no es significativo, lo que sugiere que el empaque metalizado ofrece mayor protección al producto, ya que se observa un cambio menor con respecto a la barra recién elaborada.

El empaque funciona como una barrera de protección contra factores ambientales como humedad, aire, luz, etc (Jenkins y Harrington, 1991). El material que ofrece mayor protección al color del producto es el empaque metalizado.

6.5.2.3 Índice de peróxido.

La prueba de índice de peróxidos mide los miliequivalentes de oxígeno por kilogramo de grasa. Es una determinación volumétrica de la cantidad de grupos peróxidos e hidropéroxidos. La cuantificación se basa en la reacción del yoduro de potasio con los peróxidos para liberar yodo, el cual es titulado con tiosulfato de sodio, empleando almidón como indicador (Nielsen, 1998). Las reacciones que se llevan a cabo son:



Las Figuras 42 y 43 muestran el comportamiento del índice de peróxidos a dos temperaturas. El almacenamiento a 35°C mostró un incremento más lento que el almacenamiento a 45°C, observando claramente que la temperatura promueve la reacción de formación de grupos peróxido e hidroxiperóxido. Además que el empaque juega un papel fundamental para retrasar el deterioro de la grasa presente en el alimento, ya que las muestras empacadas con la bolsa metalizada, dieron resultados menores que las muestras almacenadas en celofán.

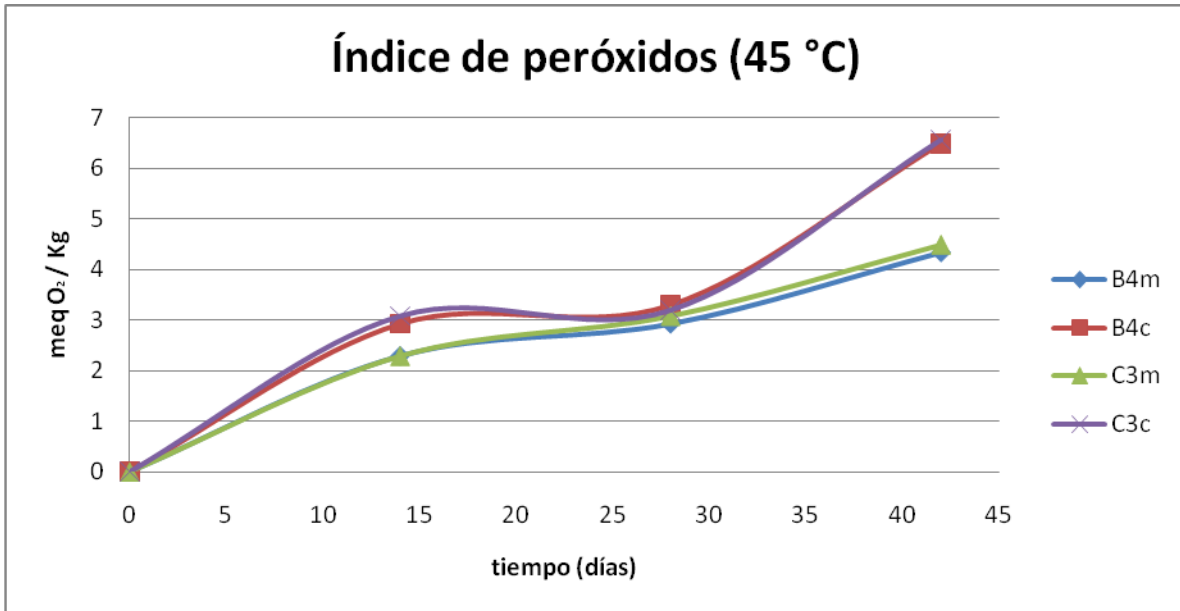


Figura 42. Índice de peróxidos (45°C) B4m = barra base almacenada empaque metalizado, B4c = barra base almacenada empaque celofán, C3m = barra sabor chorizo empaque metalizado, C3c = barra sabor chorizo almacenada empaque celofán. Los resultados representan la media de dos experimentos independientes \pm el error estándar. Letra diferente indica diferencia significativa entre medias en la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).

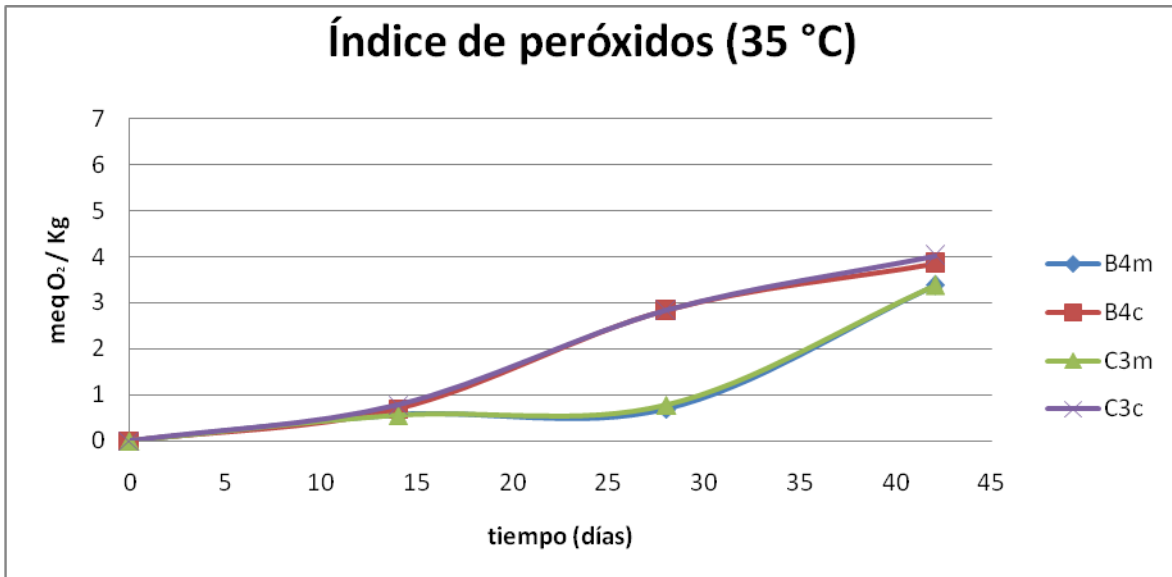


Figura 43. Índice de peróxidos (35°C), B4m = barra base almacenada empaque metalizado, B4c = barra base almacenada empaque celofán, C3m = barra sabor chorizo empaque metalizado, C3c = barra sabor chorizo almacenada empaque celofán. Los resultados representan la media de dos experimentos independientes \pm el error estándar. Letra diferente indica diferencia significativa entre medias en la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).

Además se observa la misma tendencia en los resultados, independientemente se tratara de la barra base o la adicionada con un saborizante (chorizo). Esta información se complementó con el análisis de varianza de los resultados, tomando en cuenta como factores: temperatura y empaque, se observó una interacción, es decir la bolsa de celofán mostró mayor deterioro al incrementar la temperatura.

6.5.2.4 Perfil Sensorial.

6.5.2.4.1 Reclutamiento y selección del panel.

Para esta etapa se reclutaron 27 personas, de las cuales 12 fueron seleccionadas en base a su disponibilidad de tiempo, consumo habitual de botanas saladas y su habilidad para diferenciar mediante la aplicación de un total de 12 pruebas triangulares de manera secuencial, donde el panelista debía ser capaz de encontrar la muestra que resultara diferente, aquellos panelistas que demostraron una menor habilidad para diferenciar se recurrió a un entrenamiento intensivo. Las pruebas fueron diseñadas para diferenciar muestras con diferente concentración de sal, condimento y modificaciones en la textura.

El entrenamiento de los jueces tuvo una duración de 25 h, con el fin de instruirlos en el uso adecuado de los descriptores y familiarizarse con la escala a emplear. Para evaluar la intensidad de los descriptores los jueces fueron entrenados en el uso de la escala lineal de 15 cm. El Cuadro 18 muestra las referencias, definiciones y técnicas empleadas en cada atributo para entrenar a los jueces; primero se realizó una evaluación individual y posteriormente los participantes se reunían para aclarar dudas con respecto a las referencias utilizadas, el uso de la escala y descriptores. Al finalizar el entrenamiento 2 de los jueces desertaron, por lo que se contó con un total de 10 participantes.

Los 10 jueces entrenados en el método descriptivo (5 hombres y 5 mujeres) con un promedio de edad de 25 años, quienes eran estudiantes de la Universidad Autónoma de Querétaro. Cada juez recibió un entrenamiento en el análisis

descriptivo de los atributos de sabor y textura de los alimentos usando la técnica de Spectrum (Meilgaard *et al.*, 1999).

Cuadro 18. Descriptores empleados para el Perfil Sensorial del producto.

Descriptor	Definición	Muestras	Técnica
Sabor			
Sal	Es uno de los sabores básicos	- Solución de NaCl 0.2%, 0.35%, 0.5% - Papas "Pringles" - Galleta "Ritz"	Responde a la capacidad específica de las papilas gustativas ubicadas en ambos lados de la parte delantera de la lengua.
Condimento	Mezcla de especias, potenciadores de sabor.	-Productos especiados	Responde a varias zonas de la lengua.
Textura			
Dureza	Fuerza requerida para morder la muestra.	- Queso crema - Cacahuete - Zanahoria	Colocar la muestra en los molares y ejercer fuerza.
Crujencia	Fractura fácilmente.	- Cacahuete - Papas fritas	Placer auditivo

*Adaptado de Meilgaard *et al.*, (1999).

6.5.2.4.2 Resultados de la evaluación sensorial.

Las evaluaciones sensoriales generan información de cómo las personas perciben y reaccionan a los productos. Para obtener una medida sensorial segura y objetiva, se requiere de un panel entrenado para este tipo de pruebas. A través de la capacitación, es posible desarrollar un marco común de referencia que se utilizará durante las evaluaciones y éste panel será capaz de proporcionar similares respuestas cualitativas y cuantitativas (Muñoz y Civille, 1998).

La identificación y medición de las propiedades sensoriales es factor esencial para el desarrollo de nuevos alimentos, reformulación de productos ya existentes, identificación de cambios causados por los métodos de procesamiento,

almacenamiento y para el mantenimiento de normas de control de calidad funcionando éstas como instrumentos de evaluación (Anzaldúa, 1994).

Durante las evaluaciones realizadas a las barras se pidió a los jueces que probaran y calificaran en el orden asignado, cada una de las muestras de acuerdo a la intensidad percibida. Las muestras fueron evaluadas por duplicado, es muy importante tener réplicas ya que permiten estimar el error experimental así como obtener un dato más preciso del efecto que se desea evaluar (Montgomery, 1976), y desde el punto de vista práctico permite al experimentador evaluar la consistencia en las respuestas de los jueces individualmente y en grupo (Costell y Durán, 1981).

El producto almacenado que fue evaluado era el que se encontraba en la condición más extrema de temperatura (45°C) y empacado en bolsas metalizadas. Los empaques además de ofrecer protección contra factores ambientales, deben evitar el paso de olores desagradables, o que éstos sean transferidos al producto mediante el empaque (Jenkins y Harrington, 1991). En las Figuras 44 y 45 se muestran los resultados obtenidos de las evaluaciones realizadas cada 14 días.

En las evaluaciones al producto recién elaborado, se puede observar que las muestras son preparadas de manera uniforme ya que los panelistas son consistentes en sus resultados y por lo tanto continuaban evaluando los atributos en un rango constante. Los resultados obtenidos de análisis descriptivos son una importante pauta para comprender cambios durante el almacenamiento, sin embargo Lee and Chambers (2010) concluyeron que es necesario investigar más al respecto para determinar si estos cambios son percibidos por los consumidores.

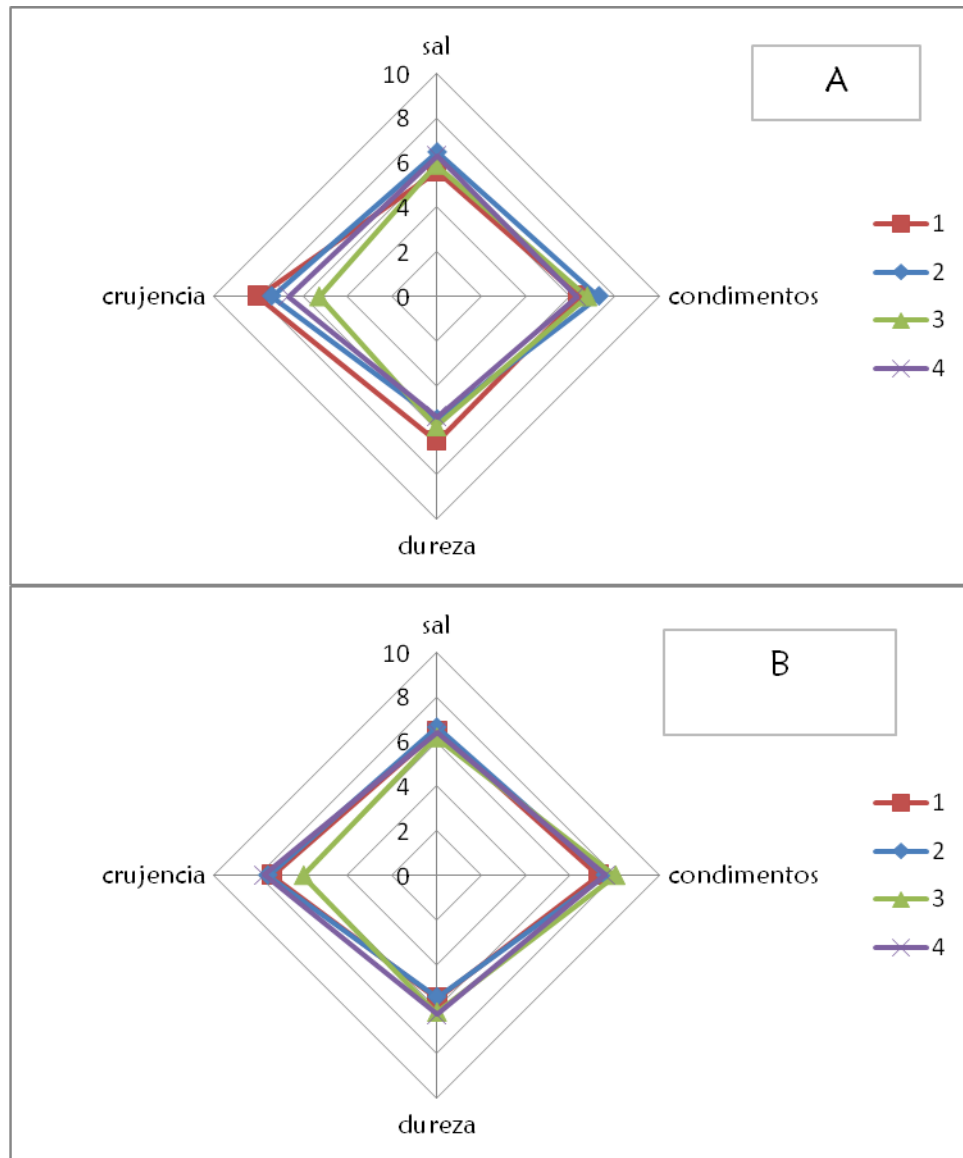


Figura 44. Perfil sensorial de la vida de anaquel de la barra B4 (1,-1), donde 1 indica el nivel más alto y -1 el más bajo, para los factores sal y condimento, respectivamente. A es el producto recién elaborado y B producto almacenado, evaluados en diferentes tiempos: 1= 0 días, 2=14 días, 3=28 días y 4= 42 días.

La formulación sabor chorizo elegida por el consumidor fue la que contenía menor porcentaje de sal, sin embargo al ser evaluadas por los jueces entrenados, la intensidad del sabor salado fue superior con respecto a la barra base, la cual tiene en la formulación el nivel más alto de sal.

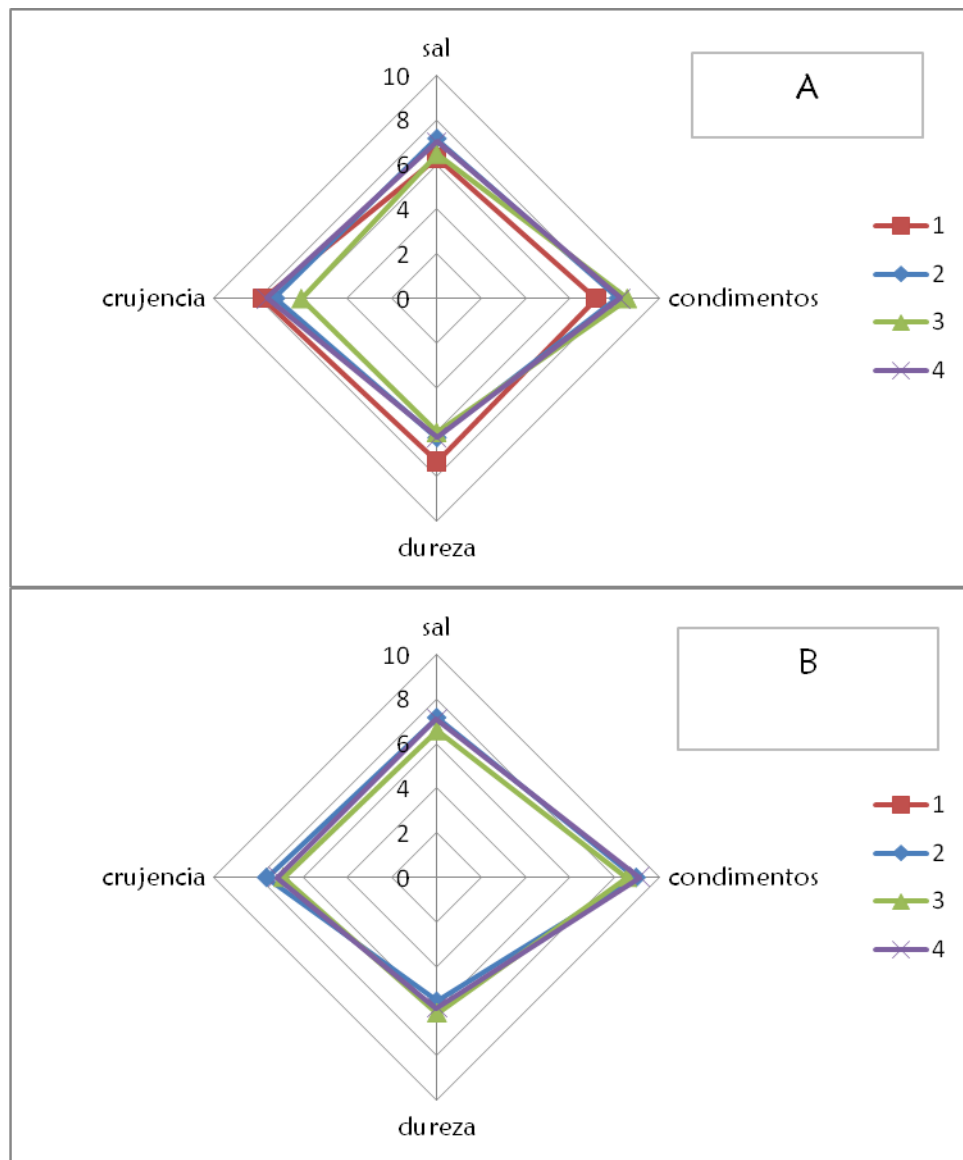


Figura 45. Perfil sensorial de la vida de anaquel de la barra C3 (-1,1,-1), donde 1 indica el nivel más alto y -1 el más bajo, para los factores sal, condimento y saborizante, respectivamente. A es el producto recién elaborado y B producto almacenado, evaluados en diferentes tiempos: 1= 0 días, 2=14 días, 3=28 días y 4= 42 días.

La vida útil de un alimento, depende de factores ambientales, humedad, temperatura de exposición, proceso térmico al que es sometido y la calidad de las materias primas, entre otros. El efecto de estos factores se manifiesta en cambios indeseables para el consumidor: alteraciones en el sabor, color, textura, pérdida de nutrientes (Potter, 1978).

Los cambios químicos o físicos tienen que ser considerados, para una comprensión completa del proceso de deterioro y que éstos afectan directamente a la calidad sensorial (Hough y Garitta, 2012). Se pueden implementar mecanismos que retrasen o impidan las reacciones químicas, pero a veces no son suficientes para evitar cambios que impacten en la percepción del consumidor.

La barra sabor chorizo (C3) a los 27 días de almacenamiento mostró una reducción en el número de jueces que eran capaces de detectar un sabor a “carne”, “embutido”, “ahumado”, “chorizo”.

Además de monitorear posibles cambios en el perfil sensorial de las barras, se evaluaron parámetros de color, textura, índice de peróxidos en el producto almacenado. Se registraron ligeros cambios en los parámetros físicos y pese al incremento en la oxidación de la grasa contenida en el producto, ninguno de estos cambios fue detectado por los jueces.

Este mismo comportamiento ha sido reportado por Talavera-Bianchi *et al.*, (2011) quienes analizaron un tipo de col asiática (*Brassica rapa* var. Mei Qing Choi) durante 18 días en almacenamiento, utilizando un análisis descriptivo concluyeron que los cambios eran mínimos, a pesar de registrar cambios químicos, los cuales no se tradujeron en alteraciones sensoriales.

Algunos autores han aplicado el perfil sensorial mediante panelistas entrenados, para describir cambios durante el tiempo de almacenamiento. Jensen *et al.* (2011) monitorearon el perfil sensorial durante almacenamiento prolongado de harina de trigo y pan de trigo, enfocándose en atributos de aroma y sabor, más allá de los cambios clásicos de textura que ocurren en productos de esa naturaleza. Las muestras se almacenaron por 3 semanas, observando que a este tiempo los productos fueron calificados por tener una alta intensidad en atributos de sabor y aroma, tales como sabor a “polvo”, “rancio”, “viejo”, mientras que las muestras almacenadas a 0 días tuvieron una alta calificación para aroma a “corteza horneada”.

VII. CONCLUSIONES.

- Las barras de mayor preferencia de acuerdo a los consumidores fueron B4 y C3, además mostraron un buen contenido nutrimental y nutracéutico.
- Se logró incrementar el contenido de proteína con respecto a la barra L30, así como disminuir el contenido de grasa de la misma, lo cual resulta importante debido a las tendencias del mercado, donde el consumidor busca alimentos con menor contenido de grasa y menor contenido calórico.
- El uso de diferentes tamaños de partícula mejoró los atributos de textura del producto final, lo cual se vio reflejado en las distintas evaluaciones sensoriales realizadas al producto.
- Con la incorporación de un aditivo para mejorar la textura, se obtuvo un producto con una dureza similar a un producto comercial y mayor crujencia.
- El uso de saborizantes posicionó la barra de frijol-avena dentro del gusto del consumidor, sin embargo la barra base también mostró gran aceptación.
- El empaque metalizado mostró una mejor protección al producto terminado, ya que la tasa de oxidación de la grasa se vio reducida con respecto al producto empacado en celofán. Así como algunos parámetros físicos evaluados como color y textura.
- Se logró obtener el perfil sensorial del producto terminado y su comportamiento en almacenamiento durante 42 días.
- La barra empacada y almacenada en una condición de vida acelerada (45 °C/42 días) conserva los atributos sensoriales de mayor importancia, referentes a sabor: contenido de sal y condimentos, así como conservar la textura del mismo. Sin embargo a 27 días de haber sido empacada el sabor chorizo comenzó a dejar de ser percibido por los jueces.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AACC (1989). Definition of oat bran. <http://www.aaccnet.org/definitions/oatbran.asp>
- Aherne, S.A. and O'Brien, N.M. (2002). Dietary flavonols: chemistry, food content, and metabolism. *Nutrition*, 18:75-81.
- Anderson, J.W., Chen, W.J.L. (1979). Plant fiber. Carbohydrate and lipid metabolism. *Am. J. Clin.Nutr.* 32, 346–363.
- Anzaldúa, A., (1994). La evaluación de los alimentos en la teoría y la práctica. 1ra edición. Edit Acribia. Zaragoza España, P. 198
- AOAC Association of Official Analytical Chemists (2002). Official Methods of Analysis. 17th ed.; Arlington, VA. Métodos: 920.39, 920.85, 920.105, 925.23, 991.43.
- Aparicio-Fernández, X., Manzo-Bonilla, L., Loarca-Piña, G.L. (2005). Comparison of antimutagenic activity of phenolic compounds in newly harvested and stored common beans *Phaseolus vulgaris* against aflatoxin B1. *J. Food Sci.* 70:73-78.
- Arámbula, V.G., Mauricio, S.R.A., Figueroa, C.J.D., González-Hernández J., and Ordorica, F.C.A. (1999). Corn masa and tortillas from extruded instant corn flour containing hydrocolloids and lime. *Journal of Food Science*, 64 (1): 120-124
- Asp, N., G., Van-Amelsvoort, J., M., M., Hautvast, J., G., A., J., (1996). Nutritional implications of resistant starch. *Nutrition Research Review* 9, 1–31.
- Bednar, G.E., Patil, A.R., Murray, S.M., Grieshop, C.M., Merchen, N.R., Fahey, G.C. (2001). Starch and fiber fractions in selected food and feed ingredients effect their small intestinal digestibility and fermentability and their large bowel fermentability *in vitro* in a canine model. *J. Nutr.* 131: 276-286.
- Beninger, C.W., Hosfield, G.L. (2003). Antioxidant activity of extracts, condensed tannin fractions and pure flavonoids from *Phaseolus vulgaris* L. seed coat color genotypes. *J Agric Food Chem.* 51: 7879-7883.
- Blackwell, A.F., Wilson, L., Street, A., Boulton, C., Knell, J. (2009). Radical innovation: crossing knowledge boundaries with interdisciplinary teams. Technical Report published by the University of Cambridge. ISSN 1476-2986.
- Bourdon, I., Olson, B., Backus, R., Richter O., Oavis, R., Schneeman, B. (2001). Beans, as a source of dietary fiber, increase cholecystokinin and apolipoprotein B48 response to test meal in men. *J Nutr.* 131: 1485-1490.
- Bourne, M.C. (1975). Texture properties and evaluations of fabricated foods. *Fabricated Foods*. G.E. Inglett, Ed. Avil Publishing Co., Westport, Connecticut.
- Boye, J., Zare, F., and Pletch, A., (2010). Pulse proteins: Processing, characterization, functional properties and applications in food and feed. *Food research international*, 43, 414-431.

- Bravo, L. (1998) Polyphenols: Chemistry, dietary sources, metabolism and nutritional significance. *Nutrition Reviews* 56, 317:333.
- Brown, L., Rosner, B., Willett, W.W., Sacks, F.M. (1999). Cholesterol-lowering effects of dietary fiber: a meta-analysis. *Am J Clin Nutr* 69(1):30-42.
- Cardador-Martínez, A., Castaño-Tostado, E., Loarca-Piña, G. (2002a). Antimutagenic activity of natural phenolic compounds present in the common bean (*Phaseolus vulgaris*) against aflatoxin B1. *Food additives and contaminants* 19:62-69.
- Cardador-Martínez, A., Loarca-Piña, G., Oomah, B.D.(2002b). Antioxidant activity in common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) *J. Agric Food Chem*, 50:6975-6980.
- Carvalho, M.A., y Figueroa-Ribeiro, R. (2001). Fructanos: Ocorrência, estrutura e utilização, com ênfase em plantas do cerrado brasileiro. Pp. 77-89
- Casp, A., and April, J., (1999). *Procesos de conservación de alimentos*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- Champ, M.M. (2002). Non-nutrient bioactive substances of pulses. *Br. J. Nutr.*, 88 (3), 307-319.
- Chen, O., Milbury, F., Collins, W. (2007). Nutrient Physiology, Metabolism, and Nutrient-Nutrient Interactions Avenanthramides Are Bioavailable and Have Antioxidant Activity in Humans after Acute Consumption of an Enriched Mixture from Oats. *J. Nutr.*
- Conforti, F.D., Charles, S.A., Dunkan, S.E. (1996). Sensory evaluation and consumer acceptance of carbohydrate-based fat replacers in biscuits. *J. Consum. Stud. Home Econ.* 20, 285–296.
- Costell, E. y Duran, L. (1981). "El análisis sensorial en el control de calidad de alimentos. III Planificación, selección de jueces y diseño estadístico". *Rev. Agr. Tecnol. Alim.* 21 (4):454
- Cruz-Bravo, R., Guevara-Gonzalez, M., Ramos-Gómez, T. García-Gasca, R., Campos-Vega, B., Oomah, D., Loarca-Piña, G. (2011). Fermented Nondigestible Fraction from Common Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) Cultivar Negro 8025 Modulates HT-29 Cell Behavior. *J. Food Sci.* 76(2) 41:47.
- Cummings, J.H., Beatty, E.R., Kingman, S.M., Bingham, S.A., Englyst, H.N. (1996). Digestion and physiological properties of resistant starch in the human large bowel. *Br J. Nutr.* 75: 733-747.
- Daubenmire, S.W., Zabik, M.E., Setser, C.S. (1993) Development of lowfat, cholesterol-free, high-fiber muffins. Part 1. Fiber source and particle size effects on quality characteristics. *School Food Ser Res Rev* 17:15-20.
- Degroot, A.P., Luyken, R., Pikear, N.A. (1963). Cholesterol lowering effect of rolled oats. *Lancet.* 2, 303–305.

- Desphande, S.S., Cheyran, M. (1987). Determination of phenolic compounds of dry beans using vanillin, redox and precipitation assays. *J. Food Sci.* 52:332-334.
- Díaz-Batalla, L., Wildholm, J., Fahey, G., Castaño-Tostado, E., Paredes-López, O. (2006). Chemical components with health implications in wild and cultivated mexican common bean seeds (*Phaseolus vulgaris L.*). *J. Agric. Food Chem.* 54: 332-334.
- Duranti, M. (2006). Grain legume proteins and nutraceutical properties. *Fitoterapia*, 77(2), 67-82.
- Dykes, L. and Rooney, W. (2007) Phenolic compounds in cereal grains and their health benefits. *Cereal Foods World*, 52(3):105-111
- Escobar, B., Estévez, A. M., Vásquez, M., Castillo, E., y Araya, E. (1992). Aporte calórico-proteico de barras tipo snack elaboradas con cereales y maní. *Alimentos*; 17:5-10.
- Evans, A., Chow, S., Jennings, R., Dave, J. (2011). Traditional Foods and Practices of Spanish-Speaking Latina Mothers Influence the Home Food Environment: Implications for Future Interventions. *J. Am. Diet Assoc.* 111:1031-8.
- FDA (2003). Food labeling : Health claims; soluble fiber from certain foods and coronary heart disease. Final rule. Fed. Regist. 68, 44207–44209. Department of Health and Human Services.U.S. Food and Drug Administration:Washington,DC.
- Feregrino-Pérez, A., Berumen, L., García Alcocer, G., Guevara González, R., Ramos-Gómez, M., Reynoso-Camacho, R., Acosta-Gallegos, J., Loarca-Piña, G., (2008). Composition and chemopreventive effect of polysaccharides from common beans (*Phaseolus vulgaris L.*) on azoxymethane-induced colon cancer. *J. Agric. Food Chem.* 56:8737-8744.
- FIRA (2001). El frijol en México competitividad y oportunidades de desarrollo. Boletín informativo Num. 316. Vol. XXXIII.
- Flores, M., Macias, N., Rivera, M., Lozada, A., Barquera, S., Rivera-Dommarco, J., Tucker, KL. (2010). Dietary patterns in Mexican adults are associated with risk of being overweight or obese. *J Nutr.* 140(10):1869-73
- Florez, A., Pujolá, M., Valero, J., Centelles, E., Almirall, A., Casañas, F. (2009). Genetic and environmental effects on chemical composition related to sensory traits in common beans (*Phaseolus vulgaris L.*). *Food Chem* 113: 950-956.
- Galvez-Ranilla, L., Genovese, M., Lajolo, F.M. (2007). Polyphenols and antioxidant capacity of seed by UV-B radiation treatment of common bean and soybean seedlings monitored by capillary electrophoresis with diode array detection. *J. Sep. Sci.*

- García, C. (2008). Estimación de la vida útil de un producto alimenticio pasteurizado y uno acidificado mediante pruebas aceleradas. Tesis de licenciatura en Ingeniería Química, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.
- García, B.C., Molina, C.E. (2008) Estimación de la vida útil de una mayonesa mediante pruebas aceleradas. Ingeniería 18 (1, 2): 57-64, ISSN: 1409-2441; 2008
- Gibson, G., Probert, H., Van Loo, J., Rastall, R., Robertfroid, M. (2004). Dietary Modulation of the human colonic microbiota: updating the concept of prebiotics. Nutr. Res. Rev. 17:259-275.
- González-Castell, D., González-Cossío, T., Barquera, S., Rivera, J.A. (2007). Contribution of processed foods to the energy, macronutrient and fiber intakes of Mexican children aged 1 to 4 years. Salud Pública Mex. 49(5):345-56.
- Grotewold, E. (2005). The science of Flavonoids. Springer, Ohio, USA. Pp:1-47.
- Guerrero, L. (1999). Estudios de consumidores: Análisis de los errores más habituales. In T. C. A. Almeida, G. Hough, M. H. Damasio, & M. A. A. P. da Silva (Eds.), Avances en análisis sensorial (pp. 121–129). Sao Paulo: Ed. Varela.
- Guzmán-Maldonado, S.H., Acosta-Gallegos, J.A., Álvarez-Muñoz, M.A., García-Delgado, S., y Loarca-Piña, G.F. (2002). Calidad alimentaria y potencial nutracéutico del frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). Agricultura Técnica en México. 28:159-173.
- Guzmán-Maldonado, S.H., and Paredes-López, O. (1998). Functional products of plants indigenous to Latin America: Amaranth, quinoa, common beans and botanicals”, en G. Mazza (coord.), Functional Foods – Biochemical and processing aspects, CRC Press, Boca Raton, cap. 9, pp. 293-328.
- Hough, G., Wakeling, I., Mucci, A., Chambers IV, E., Méndez, G.I., Rangel, A.L. (2006). Number of consumers necessary for sensory acceptability tests. J. Food Quality and Preference 17. 522-526
- Hough, G., Garitta, L. (2012). Methodology for Sensory shelf-life estimation: a review. J. of Sensory Studies. doi:10.1111/j.1745-459X.2012.00383.x
- Hsu, W., Vavak, D., Satterlee, L., Millard, G., (1977). A multienzyme technique for estimating protein digestibility. J. Food. Sci. 42:1269-1273.
- IFST. (1993). Shelf Life of Foods- Guidelines for Its Determination and Prediction, Institute of Food Science & Technology, London,U.K.
- Imtiaz, R.S., Kuhn-Sherlock, B., Campbell, M. (2012). Effect of diary proteins blends on texture of high proteins bars. J. of Texture Studies. doi:10.1111/j.1745-4603.2011.00337.x
- Industria de Botanas en México (2010), Datos industria. Obtenido de <http://www.botanas.org.mx>

- International Organization for Standardization (ISO). (2001). Animal and vegetable fats and oils-Determination of peroxide value ISO 3960 (3a ed.).
- Iñarritu, (2001). Estudio de las características Nutricionales de barras de cereales para niños. México. Arch Lat Nutr 20011;41:222-97.
- Jasayena, V., Nasar-Abbas, S. (2011). Development and quality evaluation of high-protein and high-dietary-fiber pasta using lupin flour. J. of Texture Studies. doi:10.1111/j.1745-4603.2011.00326.x
- Jensen, S., Oestdal, H., Thybo, A.K. (2010). Sensory profiling of changes in wheat and whole wheat bread during a prolonged period of storage. J. Sensory Studies 25, 231–235.
- Johnson., I., Vickers., Z. (1987). Avoiding the centering bias or range effect when determining an optimum level of sweetness in lemonade. J. Sensory studies. 2:283:292
- Kim, R. (2004). Antigenotoxic effects of water extract from Korean fermented soybeans paste. J. Food Prot. 67 (1): 156-161.
- Kirk, R.S., Sawyer, R. (1999). Pearson`s composition and analysis of foods, 9th edn. Addison-Wesley Longman Inc., Harlow, England. P 285.
- Kirby, R.W., Anderson, J.W., Sieling, B., Rees, E.D., Chen, W.J., Miller, R.E., Kay, R.M. (1981). Oat-bran intake selectively lowers serum low-density lipoprotein cholesterol concentrations of hypercholesterolemic men. Am. J. Clin. Nutr. 34, 824–829.
- Laguna, L., Varela, P., Salvador, A., Sanz, T., Fiszman, S. (2011). Balancing texture and other sensory features in reduced fat short-dough biscuits. J of Texture studies. doi:10.1111/j.1745-4603.2011.00333.x
- Lai, H.M., Lin, T.C. (2006). Bakery Products: Science and Technology. In Bakery Products: Science and Technology (Y.H. Hiu, ed.) pp. 3–65, Blackwell Publishing, Ames, IA.
- Lee, J., Chambers, D.H. (2010). Flavors of green tea change little during storage. J. Sensory Studies 25, 512–520.
- Leonard, W.H., Martin, J.H. (1963). Part IV. Rye, barley and oats. In Cereal Crops (W.H. Leonard and J.H. Martin, eds.) The Macmillan Company, New York, NY.
- Lin, L.Z., Harnly, J. M., Pastor-Corrales, M. S., Luthria, D. L. (2008). The polyphenolic profiles of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). Food Chem. 107, 399–410.
- Liu, R.H. (2003). Health benefits of fruits and vegetables are from additive and synergistic combinations of phytochemicals. J. Clin. Nutr. 78: 517-520.
- Loveday, S.M., Hindmarsh, J.P., Creamer, L.K., Singh, H. (2009). Physicochemical changes in a model protein bar during storage. Food Res. Int. 42, 798–806.

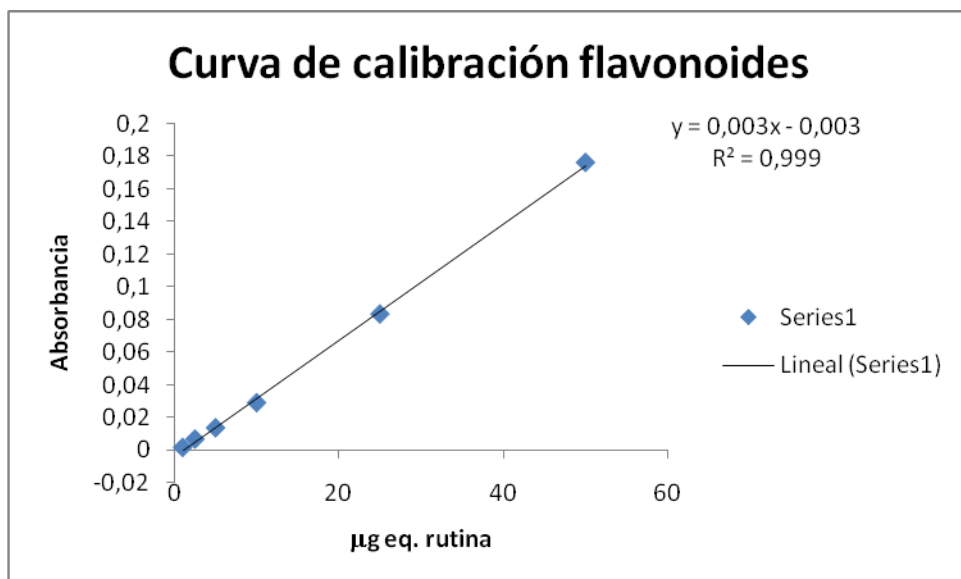
- Luthria, D.L., Pastor-Corrales, M.A. (2006). Phenolic acids content of fifteen dry edible bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties. *J. Food Compos. Anal.* 19, 205–211.
- Lutz, M., León, A., (2009). Aspectos nutricionales y saludables de los productos de panificación. Universidad de Valparaíso, Chile.
- Madhujith T., Naczki M. and Shahidi F. (2004). Antioxidant activity of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) *Journal of Food Lipids* 11: 220-223.
- Martínez-Valverde, I., Periago, M., Ros, G. (2000). Significado nutricional de los compuestos fenólicos en la dieta. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición.*
- Mazumder, P., Roopa, B.S., Bhattacharya, S. (2007). Textural attributes of a model snack food at different moisture contents. *Journal of Food Engineering*, 79(2):511-516.
- Meilgaard, M., C., Civille, G., V., Carr, B., T. (1999) *Sensory Evaluation Techniques*, 3rd Ed., CRC Press, Boca Raton, FL.
- Meza, R., H. A., (2011) Tesis de maestría. Elaboración y evaluación nutricional y nutracéutico de una botana a partir de harinas extrudidas de frijol/maíz. Universidad Autónoma de Querétaro. Facultad de Química. PROPAC.
- Montgomery, D.C. (1991). *Diseño y Análisis de Experimentos*. Grupo Editorial Iberoamérica. EUA.
- Muñoz, A., Civille, G. (1998). Universal, product and attribute specific scaling and the development of common lexicons in descriptive analysis. *J. Sensorial Studies* 13:57:75
- Nielsen, S. (1998) *Food Analysis Second Edition*; An Aspen Publication, Gaithersburg, Maryland.
- Nielson, S. S. (1991) *Food Tech.* 45. 112–118.
- Norma Oficial Mexicana (NOM-187-SSA1-SCFI-2002). Productos y servicios. Masa, tortillas, tostadas y harinas preparadas para su elaboración y establecimientos donde se procesan. Especificaciones sanitarias. Información comercial. Métodos de prueba.
- Nzigamasabo, D., Hui, Y.H. (2006). *Food Biochemistry and Food Processing*. Willey-Blackwell.
- Olaiz, G., Rivera, J., Shamah, T., Rojas, R., Villalpando, S., Hernández, M., Sepúlveda, J., Hass, J., Campirano, F., (2006). Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2006. Cuernavaca (México): Instituto Nacional de Salud Pública.
- Osorio Díaz, P., Bello Pérez, L. A., Agama Acevedo, E., Vargas Torres, A., Tovar, J. y Paredes López, O. (2002). *In vitro* digestibility and resistant starch content of some industrialized commercial beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food Chemistry*. 78: 333-337.

- Osorio, P. (2006) Tesis de doctorado. Digestibilidad del almidón: Estudio en frijol. . Universidad Autónoma de Querétaro. Facultad de Química. PROPAC.
- Oomah, D., Cardador-Martínez, A., Loarca-Piña, G., (2005). Phenolics and antioxidative activities in common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) Sci. Food. Agric. 85: 935-942.
- Oomah, D., Corbe, A., Balasubramanian, P., (2010). Antioxidant and Anti-inflammatory Activities of Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Hulls. J. Agric. Food Chem. 2010, 58, 8225–8230.
- Paredes-López, O., Guevara-Lara, F., Bello-Pérez, L.A., (2006). Cap. III. Frijol. Los Alimentos Mágicos de las culturas Indígenas Mesoamericanas. Fondo de Cultura Económica – Serie Ciencia para Todos. México, D.F., pp:59-81.
- Pareyt, B., Delcour, J.A. (2008). The role of wheat flour constituents, sugar, and fat in low moisture cereal based products: A review on sugar-snap cookies. Crit. Rev. Food Sci. Nutr. 48, 824–839.
- Pereira, M., O'Reilly, E., Augustsson, K. (2004). Dietary fiber and risk of coronary heart disease: a pooled analysis of cohort studies. Arch. Intern. Med. 164: 370:376.
- Pascual-Teresa, S., Moreno, D., García-Viguera C. (2010). Flavonols and Anthocyanins in Cardiovascular Health: A review of current evidence. Int. J. Mol. Sci. 11: 1679-1703.
- Peterson, D., M., (2001). Oat antioxidants. J Cereal Sci. 33:115–29.
- Pineda, S. (2009). Tesis de maestría. Elaboración, evaluación nutrimental y nutracéutica de mezclas de harinas extrudidas maíz/frijol, trigo/frijol y tostadas. Universidad Autónoma de Querétaro. Facultad de Química. PROPAC.
- Potter, N. (1978). *La ciencia de los alimentos* (2a ed.). México D. F: Edutex, S. A.
- Queiroz-Monici, K., Costa, G., da Silva, N., Reis, S., Oliveira, A. (2005). Bifidogenic effect of dietary fiber and resistant starch from leguminous on the intestinal microbiota of rats. Nutrition, 21: 602-608.
- Ramírez J., A. K., (2010) Tesis de maestría. Elaboración y evaluación del valor nutrimental, nutracéutico y sensorial de una barra horneada de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y avena (*Avena sativa*). Universidad Autónoma de Querétaro. Facultad de Química. PROPAC.
- Reyes-Moreno, C., Paredes-López, O. (1993) Hard-to-cook phenomenon in common beans, Crit Rev Food Sci Nutr. 33: 227-286.
- Rivera, J.A., Barquera, S., Campirano, F., Campos, I., Safdie, M., Tovar, V. (2002). Epidemiological and nutritional transition in Mexico: rapid increase of non-communicable chronic diseases and obesity. Public Health Nutr. 5:113–22.
- Rodríguez-Morán, M., Guerrero-Romero, F., Rascón-Pacheco, R.A. (2009). Dietary factors related to the increase of cardiovascular risk factors in traditional

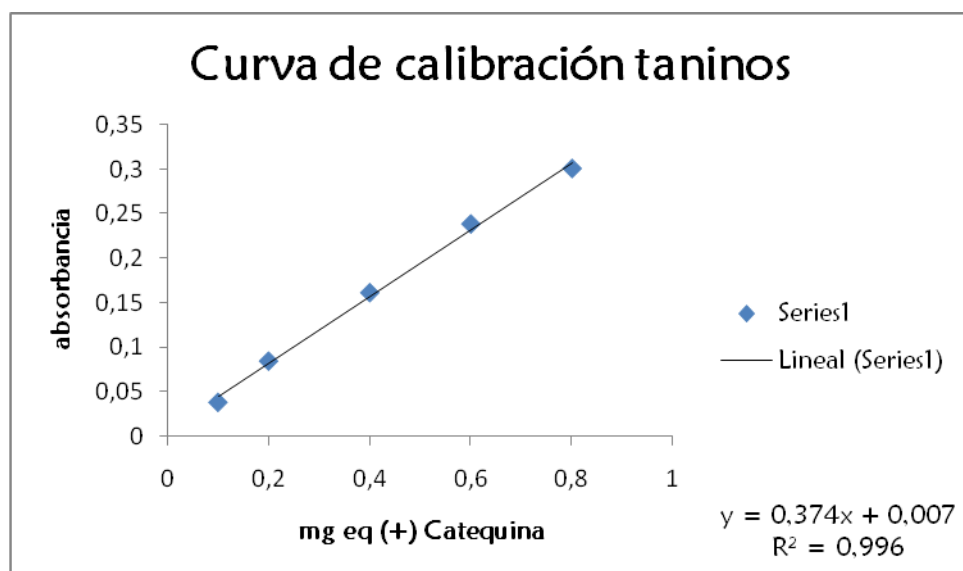
- Tepehuanos communities from Mexico. A 10 year follow-up study. *Nutr Metab Cardiovasc Dis.* 19(6):409-16.
- Rondon, E., Pacheco, E., Ortega, F. (2004). Estimación de la vida útil de un análogo comercial de mayonesa utilizando el factor de aceleración Q10. Facultad de Agronomía, Universidad Central de Venezuela, 4(21), 68-83.
- Ryland, D., Vaisey-Genser, M., Arntfield, S., Malcomson, L. (2010). Development of a nutritious acceptable snack bar using micronized flaked lentils. *Food Research International*, 43:642-649.
- Sadiq Butt, M., Tahir-Nadeem, E., Khan, M., Shabir, R., Butt, M. (2008). Oat: unique among the cereals. A review. *Eur. J. Nutr.* 47: 68-79.
- SAGARPA (2008). <http://www.sagarpa.gob.mx>
- Saura-Calixto, F. (1988). Effect of condensed tannins in the analysis of dietary fiber in carob pods. *J. Food Sci.* 58(3): 642-643.
- Saura-Calixto, F., Goñi, I., Bravo, L., Mañas, E. (1993). Resistant Starch in foods: modified method for dietary fiber residues. *J. Food Sci.* 58(3): 642-643.
- Saura-Calixto, F., García-Alonso, A., Goñi, I., Bravo, L. (2004). *In vitro* determination of the indigestible fraction in food. An alternative to dietary fiber analysis. *J Agric Food Chem.* 48: 3324-3347.
- Shinnick, F.L., Longacre, M.J., Ink, S.L., Marlett, J.A. (1988). Oat fiber: Composition versus physiological function in rats. *Am. Inst.Nutr.* 118, 144–151.
- Shiga, M., Lajolo, M., Filisetti, M. (2003). Cell wall polysaccharides of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) *Cienc. Tenol. Aliment. Caminas* 23:141-148.
- Sheweta, B., Deepak, M., Khatkar, B.S. (2012) Effect of flour particle size and damage starch on the quality of cookies. *J Food Sci Technol* 10.1009/s13197-012-0627-x.
- Sirtori, C., Galli, C., Anderson, J., Sirtori, E., (2009). Functional foods for dyslipidemia and cardiovascular risk prevention. *Nutr. Research Reviews.* 22: 224:261
- Slavin, J. (2004). Whole grains and human health. *Nutr. Res. Rev.* 17: 99-110.
- Sudha, M.L., Srivastava, A.K., Vetrmani, R., Leelavathi, K. (2007). Fat replacement in soft dough biscuits: Its implications on dough rheology and biscuit quality. *J. Food Eng.* 80, 922–930.
- Talavera-Bianchi, M., Chambers, D.H., Chambers, I. V., E., Adhikari, K., Carey, E.E. (2011). Sensory and chemical properties of organically and conventionally grown pac choi (*Brassica rapa var. Mei Qing Choi*) change little during 18 days of refrigerated storage. *LWT – Food Sci. Technol.* 44, 1538–1545.
- Vargas-Torres, A., Osorio-Díaz, P., Tovar, J., Paredes-López, O., Ruales, J, Bello-Pérez A. (2004). Chemical composition, starch bioavailability and indigestible fraction of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) *Starch/starkö*, 56:4

- Veeriah, S., Kautenburger, T., Habermann, N., Saauer, J., Dietrich, H., Will, F., Pool-Zobel, B.L. (2006). Apple flavonoids inhibit growth of HT29 human colon cancer cells and modulate expression of genes involved in the biotransformation of xenobiotics. *Mol. Carcinog.* 45:164-174.
- Velasco, Z., Rascon, A., Tovar, J. (1997). Enzymatic availability of starch in cooked black beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and coowpeas (*Vigna* spp.). *J Agric. Food Chem.* 45:1548-51.
- Vergara-Castañeda, H., Guevara-González, M., Ramos-Gómez, T., García-Gasca, R., Campos-Vega, R., Oomah, D., Loarca-Piña, G. (2010). Non-digestible fraction of cooked bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar Bayo Madero suppresses colonic aberrant crypt foci in azoxymethane-induced rats. *Food & Func.*
- Vergara C., H. A., (2011) Tesis de doctorado. Efecto de la fracción no digerible del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) cocido variedad Bayo Madero, sobre el estadio temprano de cáncer de colon. Universidad Autónoma de Querétaro. Facultad de Química. PROPAC.
- Vincent, J.F.V. (1998). The quantification of crispness. *J. Sci. Food Agric.* 78:162-168.
- Willett, W. C. (2002) Balancing life-style and genomics research for disease prevention. *Science* 296: 695-698.
- Wood, P.J. (1993). Physicochemical characteristics and physiological properties of oat (1→3), (1→4)-B-D-glucan. In *Oat Bran* (P.J.Wood ed.) American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN.
- Xu, B.J., Chang, S.K.C. (2007). A comparative study on phenolic profiles and antioxidant activities of legumes as affected by extraction solvents. *J. Food Sc.* 72:59:66.
- Yamasaki, H., Matsumoto, K. (1993). Production of fructooligaccharide-rich fructose syrup in: *Inulin-Containing Crops*, ed. A. fuchs, pp 35-37. Elsevier Science Publishers.
- Yao, N., Ekenstedt, K., White, P. (2011). Textural properties of food systems having different moisture concentrations as impacted by oat bran with different β -glucan concentrations, *J. of Texture Studies* doi:10.1111/j.1745-4603.2011.00292.x
- Zhao, C., Giusti, M., Malik, M., Moyer, M., P. and Magnuson, B., A. (2004). Effects of commercial anthocyanin-rich extracts on colonic cancer and nontumorigenic colonic cell growth. *J Agric Food Chem.* 52: 6122-6128.

IX. ANEXOS.



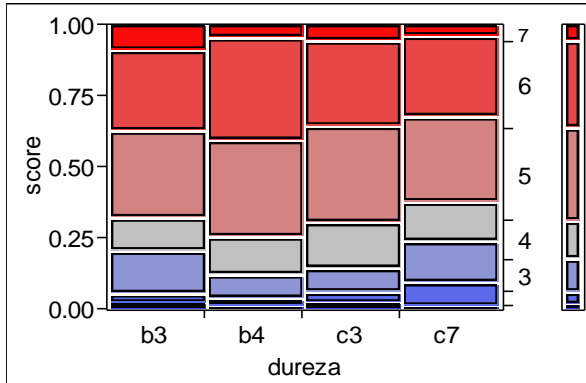
Anexo 1. Curva de calibración de calibración para flavonoides expresados como µg equivalentes de rutina. Cada punto representa el promedio de tres experimentos.



Anexo 2. Curva de calibración de calibración para taninos expresados como mg equivalentes de (+)-Catequina. Cada punto representa el promedio de tres experimentos.

Contingency Analysis of score By dureza

Mosaic Plot



Contingency Table

dureza By score

Count	1	2	3	4	5	6	7	
Total %								
Col %								
Row %								
b3	2 0.42 33.33 1.67	4 0.83 18.18 3.33	18 3.75 32.73 15.00	14 2.92 21.21 11.67	37 7.71 23.87 30.83	34 7.08 23.13 28.33	11 2.29 37.93 9.17	120 25.00
b4	1 0.21 16.67 0.83	3 0.63 13.64 2.50	10 2.08 18.18 8.33	16 3.33 24.24 13.33	41 8.54 26.45 34.17	43 8.96 29.25 35.83	6 1.25 20.69 5.00	120 25.00
c3	2 0.42 33.33 1.67	5 1.04 22.73 4.17	10 2.08 18.18 8.33	19 3.96 28.79 15.83	41 8.54 26.45 34.17	36 7.50 24.49 30.00	7 1.46 24.14 5.83	120 25.00
c7	1 0.21 16.67 0.83	10 2.08 45.45 8.33	17 3.54 30.91 14.17	17 3.54 25.76 14.17	36 7.50 23.23 30.00	34 7.08 23.13 28.33	5 1.04 17.24 4.17	120 25.00
	6 1.25	22 4.58	55 11.46	66 13.75	155 32.29	147 30.63	29 6.04	480

Tests

N	DF	-LogLike	RSquare (U)
480	18	7.5683773	0.0098

Test	ChiSquare	Prob>ChiSq
Likelihood Ratio	15.137	0.6526
Pearson	15.742	0.6106

Anexo 3. Análisis estadístico prueba hedónica. Prueba χ^2 para el parámetro de dureza del producto final.