



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Química

Programa de Posgrado en Alimentos del Centro de la
República

**ELABORACIÓN Y EVALUACIÓN DEL VALOR
NUTRIMENTAL, NUTRACÉUTICO Y SENSORIAL DE
UNA BARRA HORNEADA DE FRIJOL
(*Phaseolus vulgaris* L.) Y AVENA (*Avena sativa*)**

Que como parte de los requisitos de

TESIS

Presenta

IIA. Aurea Karina Ramírez Jiménez

Dirigido por:

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña

C.U. Santiago de Querétaro, Qro., Octubre 2010



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Química

Programa de Posgrado en Alimentos del Centro de la República

ELABORACIÓN Y EVALUACIÓN DEL VALOR NUTRIMENTAL, NUTRACÉUTICO Y SENSORIAL DE UNA BARRA HORNEADA DE FRIJOL (*Phaseolus vulgaris* L.) Y AVENA (*Avena sativa*)

TESIS

Presenta:

IIA. Aurea Karina Ramírez Jiménez

Dirigido por:

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña

SINODALES

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña

Presidente

Dra. Rosalía Reynoso Camacho

Secretario

Dr. Eduardo Castaño Tostado


Vocal

Dra. Silvia Amaya Llano

Suplente

Dra. Clara Escamilla Santana

Suplente



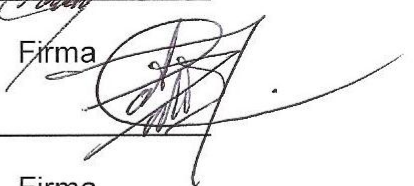
Q.B. Magali Aguilar Ortíz
Director de la Facultad de Química



Firma



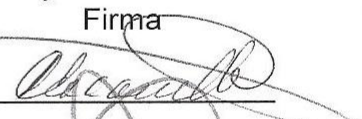
Firma



Firma



Firma



Firma



Dr. Luis G. Hernández Sandoval
Director de Investigación y Posgrado

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Octubre 2010
México

RESUMEN

El consumo de frijol común ha ganado interés en los últimos años por sus propiedades nutricionales y nutraceuticas. Se sabe que la combinación cereales-leguminosas provee un balance adecuado de nutrientes. El objetivo de este trabajo fue evaluar las propiedades nutricionales, nutraceuticas y sensoriales de una barra de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) y avena (*Avena sativa*). Dos grupos de enfoque con un total de 15 participantes permitieron identificar atributos clave esperados por el consumidor en lo que respecta a textura y sabor. Un diseño de mezclas se utilizó para obtener 27 formulaciones, elaboradas en dos variedades de frijol (Negro 8025 y Bayo Madero) y se evaluaron en una prueba de ordenamiento (18 jueces semientrenados, 5 sesiones). Las de mayor preferencia fueron 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 análisis proximal, contenido de fibra total, oligosacáridos, flavonoides totales, taninos condensados y capacidad antioxidante fueron determinados. El contenido de proteína ($12.54\% \pm 0.05$) 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 $32.46\% \pm 0.19$ para ambas barras. La concentración de rafinosa fue mayor en L30 (8.22 ± 0.35 mg/g). L30 tuvo la mayor capacidad antioxidante (6.17 ± 0.21 equivalentes 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. Las isotermas de adsorción a 25°C, 35°C y 45°C en un intervalo de a_w de 0.2 a 0.9 exhibieron una forma tipo III (clasificación Brunauer). Una prueba de agrado (escala hedónica de 9 puntos) mostró que una botana comercial obtuvo mayor agrado que L30 y control. La textura y atributos de sabor fueron clasificados como "justo en lo correcto" sólo para la botana comercial. Los resultados sugieren que la barra de frijol-avena es una alternativa saludable para incrementar el consumo de frijol, sin embargo las propiedades sensoriales deben optimizarse.

Palabras clave: (Nutraceuticos, barras, frijol común, avena)

ABSTRACT

Common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) consumption has gained interest in the past years due to their nutritional and nutraceutical properties. It is well known that cereals-legumes combination provide an adequate nutrients balance. The aim of this work was evaluating the nutritional, nutraceutical and sensorial properties of a snack bar made of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and oats (*Avena sativa*). Two focus groups with a total of fifteen participants were conducted to identify key attributes expected by consumers related to texture and flavor. A mixture design was used to obtain 27 formulations; each one was elaborated with Negro 8025 and Bayo Madero bean flour and evaluated in a ranking test (18 semi-trained panelists, 5 sessions). Samples with the highest ranking were denominated L30 and L48, both containing Bayo Madero bean flour and oatmeal in a ratio of 23.4%-16.9% and 24.6%-18.9%, respectively. Chemical composition, total fiber, oligosaccharides, total phenolics, and flavonoids content, and antioxidant capacity were analyzed for both. Protein ($12.54\% \pm 0.05$) and lipid content ($14.86\% \pm 0.18$) in L30 and L48 bars were higher and lower than an oatmeal bar used as control and than a commercial bar. Total fiber mean values were $32.46\% \pm 0.19$, for both bars. Raffinose content was higher in L30 (8.22 ± 0.35 mg/g). L30 bar showed the highest values of antioxidant capacity (6.17 ± 0.21 trolox equivalent antioxidant capacity in DPPH assay) and total flavonoids (5.64 ± 0.51 mg rutin equivalent/g). Texture was evaluated, being L30 crispier and less hard than a commercial snack bar. Moisture adsorption isotherms at 25°C, 35°C and 45°C were determined over a water activity range of 0.2 to 0.9. All samples exhibited a type III isotherm (Brunauer classification). Acceptance test (9-point hedonic scale) showed that a commercial snack received higher overall acceptance than L30 and control. Texture and flavor attributes were scored as just-about-right only for the commercial snack. The results suggest that the bean-oat snack bar is a healthy alternative to improve bean consumption, although sensory must be optimized.

Key words: (Nutraceuticals, snack bars, common beans, oats)

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña, por su guía y apoyo en todo sentido durante estos dos años.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por la beca otorgada para realizar mis estudios.

A la Universidad Autónoma de Querétaro, por haberme dado la oportunidad de pertenecer a esta excelente casa de estudios.

Al CINVESTAV unidad Querétaro y al INIFAP unidad Celaya por las facilidades para la realización de partes importantes de este proyecto.

A mi esposo e hijos, por que sin el apoyo y paciencia que me brindaron para concluir exitosamente este proyecto, simplemente no hubiera sido posible realizarlo.

A mis padres, por todo el apoyo y las palabras de aliento que me impulsaron a seguir adelante.

INDICE GENERAL

| | |
|--|------|
| INDICE GENERAL..... | iv |
| INDICE DE FIGURAS..... | viii |
| INDICE DE CUADROS..... | ix |
| I.INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. ANTECEDENTES..... | 3 |
| 2.1. Botanas..... | 3 |
| 2.1.1. Generalidades..... | 3 |
| 2.1.2. Métodos para el desarrollo | 4 |
| 2.2. Alimentos nutraceuticos..... | 7 |
| 2.2.1. Definición..... | 7 |
| 2.2.2. Clasificación de nutraceuticos | 7 |
| 2.2.3. Compuestos bioactivos presentes en alimentos nutraceuticos | 8 |
| 2.3. Frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)..... | 8 |
| 2.3.1. Composición | 9 |
| 2.3.2. Compuestos bioactivos presentes en el frijol común | 11 |
| 2.3.2.1. Compuestos fenolicos..... | 11 |
| 2.3.2.1.1. Flavonoides..... | 12 |
| 2.3.2.1.2. Antocianinas | 13 |
| 2.3.2.1.3. Taninos condensados | 15 |
| 2.3.2.1.4. Capacidad antioxidante de compuestos fenolicos en frijol común..... | 16 |
| 2.3.2.2. Polisacáridos indigeribles..... | 17 |
| 2.3.2.2.1 Fibra..... | 18 |
| 2.3.2.2.2. Almidón resistente..... | 19 |
| 2.3.2.2.3. Oligosacáridos..... | 20 |
| 2.3.2.3. Péptidos funcionales..... | 21 |
| 2.4. Avena (<i>Avena sativa</i> L.)..... | 21 |
| 2.4.1. Composición | 22 |
| 2.4.2. Compuestos bioactivos presentes en avena..... | 23 |

| | |
|--|----|
| 2.4.2.1. β -glucanos | 24 |
| 2.4.2.2. Fructanos o fructooligosacáridos..... | 25 |
| 2.5. Efecto del proceso térmico en compuestos bioactivos de frijol y avena | 27 |
| 2.5.1. Proceso térmico de frijol..... | 27 |
| 2.5.2. Proceso térmico de avena | 29 |
| III. JUSTIFICACIÓN | 31 |
| IV. OBJETIVOS | 32 |
| 4.1. Objetivo general | 32 |
| 4.2. Objetivos específicos | 32 |
| V. MATERIALES Y MÉTODOS | 33 |
| 5.1. Materiales..... | 33 |
| 5.1.1. Materiales biológicos..... | 33 |
| 5.1.2. Materiales para elaboración de las barras..... | 33 |
| 5.1.3. Reactivos | 33 |
| 5.2. Métodos | 34 |
| 5.2.1. Estrategia experimental..... | 34 |
| 5.2.2. Proceso de elaboración de la barra | 35 |
| 5.2.2.1. Preparación de las materias primas..... | 35 |
| 5.2.2.1.1. Cocción de frijol | 35 |
| 5.2.2.1.2. Secado por horno | 35 |
| 5.2.2.1.3. Mucílago de linaza | 35 |
| 5.2.2.2. Elaboración de las barras de frijol-avena..... | 36 |
| 5.2.3. Análisis proximal..... | 38 |
| 5.2.3.1. Determinación de grasa..... | 38 |
| 5.2.3.2. Determinación de proteína..... | 38 |
| 5.2.3.3. Determinación de humedad | 39 |
| 5.2.3.4. Determinación de cenizas..... | 39 |
| 5.2.3.5. Determinación de carbohidratos | 40 |
| 5.2.3.6. Determinación de fibra insoluble | 40 |
| 5.2.3.8. Determinación de fibra soluble | 41 |
| 5.2.4. Cuantificación de almidón resistente | 41 |
| 5.2.5. Cuantificación de oligosacáridos..... | 41 |

| | |
|--|----|
| 5.2.6. Cuantificación de compuestos fenólicos..... | 42 |
| 5.2.6.1. Extracto metanólico..... | 42 |
| 5.2.6.2. Cuantificación de taninos condensados..... | 42 |
| 5.2.6.3. Cuantificación de flavonoides totales | 43 |
| 5.2.7. Capacidad antioxidante | 43 |
| 5.2.7.1. Determinación de capacidad antioxidante por el método ABTS..... | 43 |
| 5.2.7.2. Determinación de capacidad antioxidante por el método DPPH..... | 43 |
| 5.2.8. Evaluación sensorial | 44 |
| 5.2.8.1. Grupos de enfoque | 44 |
| 5.2.8.2. Prueba de ordenamiento..... | 46 |
| 5.2.8.3. Prueba de agrado | 48 |
| 5.2.9. Análisis de textura | 51 |
| 5.2.9.1. Prueba de tres puntos | 51 |
| 5.2.9.2. Prueba de corte | 51 |
| 5.2.9.3. Prueba de punción..... | 52 |
| 5.2.10. Análisis de estabilidad durante el almacenamiento | 52 |
| 5.3. Análisis estadístico..... | 53 |
| VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 54 |
| 6.1. Resultados de grupo de enfoque | 54 |
| 6.2. Preparación de las muestras..... | 59 |
| 6.2.1. Harina de frijol | 59 |
| 6.3. Análisis proximal y fibra dietética de harinas de frijol y avena | 60 |
| 6.3.1. Análisis proximal..... | 60 |
| 6.3.2. Fibra dietética | 63 |
| 6.3.3. Almidón resistente..... | 65 |
| 6.4. Cuantificación de compuestos fenólicos en harinas de frijol y avena | 67 |
| 6.5. Selección de ingredientes para las barras | 70 |
| 6.5.1. Aspectos tecnológicos del producto | 70 |
| 6.5.1.1. Frijol..... | 71 |
| 6.5.1.2. Avena..... | 72 |
| 6.5.1.3. Aditivos | 72 |
| 6.6. Pruebas preliminares del producto | 74 |

| | |
|---|-----|
| 6.6.1. Análisis de absorción de agua..... | 76 |
| 6.6.1.1. Índice de absorción de agua de harinas de frijol y avena | 76 |
| 6.6.1.2. Índice de absorción de agua y capacidad de absorción de agua de las formulaciones de prueba..... | 79 |
| 6.7. Diseño de mezclas | 81 |
| 6.8. Prueba de ordenamiento..... | 85 |
| 6.9. Análisis proximal de las barras frijol-avena..... | 86 |
| 6.10. Determinación de fibra dietética de las barras frijol-avena | 87 |
| 6.11. Cuantificación de oligosacáridos..... | 89 |
| 6.12. Cuantificación de compuestos fenólicos de las barras frijol-avena | 91 |
| 6.13. Capacidad antioxidante | 93 |
| 6.13.1. Capacidad antioxidante por el método DPPH..... | 93 |
| 6.13.2. Capacidad antioxidante por el método ABTS..... | 96 |
| 6.14. Pruebas de textura | 99 |
| 6.14.1. Prueba de corte o cizalla..... | 99 |
| 6.14.2. Prueba de tres puntos | 103 |
| 6.14.3. Prueba de punción..... | 106 |
| 6.15. Estudios de vida de anaquel | 109 |
| 6.16. Prueba de agrado | 115 |
| 6.16.1. Escala hedónica | 115 |
| 6.16.1. Escala “justo en lo correcto” | 116 |
| VII. CONCLUSIONES..... | 119 |
| VIII. BIBLIOGRAFÍA | 120 |

INDICE DE FIGURAS

| Figura | Página |
|--|--------|
| 1. Estructura química de flavonoides (flavan) | 12 |
| 2. Estructura química de antocianinas (cianina)..... | 14 |
| 3. Estructura química de taninos condensados (trímero de prodelfinina) | 15 |
| 4. Estructura de β -glucanos..... | 24 |
| 5. Fructano basado en neo-cetosas con enlaces β -2,6..... | 26 |
| 6. Estrategia experimental | 34 |
| 7. Diagrama de flujo para la elaboración de barras de avena y frijol | 37 |
| 8. Formato de encuesta de selección de asistentes a grupo de enfoque | 46 |
| 9. Formato de prueba de ordenamiento | 48 |
| 10. Formato de prueba de agrado..... | 51 |
| 11. Índice de absorción de agua de las formulaciones de prueba de las barras frijol-avena..... | 80 |
| 12. Capacidad de absorción de agua de las formulaciones de prueba de las barras frijol-avena..... | 81 |
| 13. Resultados de prueba de ordenamiento de las barras de frijol (<i>P. vulgaris</i>) y avena (<i>A. sativa</i>). | 86 |
| 14. Reacción entre DPPH* y un antioxidante para formar DPPH..... | 98 |
| 15. Formación del radical estable ABTS*+ a partir de ABTS con persulfato de potasio..... | 99 |
| 16. Curva fuerza-deformación de las barras de frijol-avena de la prueba de corte..... | 103 |
| 17. Curva fuerza-deformación de las barras de frijol-avena de la prueba de tres puntos..... | 106 |
| 18. Curva fuerza-deformación de las barras de frijol-avena de la prueba de punción | 109 |
| 19. Isotherma de adsorción de agua de barras de frijol-avena, formulación L30 a 45°C..... | 111 |
| 20. Isotherma de adsorción de agua de la formulación control a 45°C..... | 111 |
| 21. Ecuación del modelo BET | 112 |
| 22. Isotherma de adsorción de barras de frijol y avena a 45°C en comparación con una barra comercial..... | 113 |
| 23. Mapa de estabilidad de los alimentos | 114 |
| 24. Resultados de la prueba de agrado de las barras de frijol y avena..... | 116 |
| 25. Resultados prueba de agrado escala JAR | 118 |

INDICE DE CUADROS

| Cuadro | Página |
|--|--------|
| 1. Comparativo de ingredientes utilizados en barras nutritivas comerciales en México..... | 6 |
| 2. Indicadores químicos y nutrimentales del frijol común (<i>P. vulgaris</i>)..... | 10 |
| 3. Composición promedio de <i>Avena sativa</i> L. cultivada en el campo experimental Sierra de Chihuahua | 23 |
| 4. Formulación base de barras de frijo y avena..... | 36 |
| 5. Diseño de bloques incompletos balanceados para la prueba de ordenamiento..... | 46 |
| 6. Condiciones de humedad relativa y sales utilizadas para una isoterma de sorción de barras de frijol (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) y avena (<i>Avena sativa</i>) a 45°C..... | 52 |
| 7. Rendimiento de diferentes tratamientos térmicos de frijol..... | 59 |
| 8. Composición proximal y fibra dietética de harinas de frijol común (<i>P. vulgaris</i> L.) y avena (<i>Avena sativa</i>) | 61 |
| 9. Contenido de flavonoides y taninos condensados en harinas de frijol común (<i>P. vulgaris</i> L.) y avena (<i>Avena sativa</i>)..... | 67 |
| 10. Funcionalidad de ingredientes de la formulación | 70 |
| 11. Formulación de barras de frijol y avena para pruebas preliminares | 75 |
| 12. Propiedades de la masa de las formulaciones preliminares de la barra de frijol y avena | 76 |
| 13. Índice de absorción de agua de harinas de frijol, avena y trigo..... | 77 |
| 14. Valores mínimos y máximos de los ingredientes utilizados en el diseño de mezclas | 84 |
| 15. Formulaciones de una barra de frijol común (<i>P. vulgaris</i>) y avena (<i>Avena sativa</i>) obtenidas mediante un diseño de mezclas. | 84 |
| 16. Composición proximal de barras de frijol común (<i>P. vulgaris</i>) y avena (<i>A. sativa</i>)..... | 86 |
| 17. Contenido de fibra dietética total, soluble, insoluble y almidón resistente en barras de frijol común (<i>P. vulgaris</i>) y avena (<i>A. sativa</i>) | 87 |
| 18. Cuantificación de oligosacáridos en barras de frijol (<i>P. vulgaris</i>) y avena (<i>A. sativa</i>) | 89 |

| | |
|---|-----|
| 19. Determinación de flavonoides totales y taninos condensados de barras de frijol (<i>P. vulgaris</i>) y avena (<i>A. sativa</i>)..... | 91 |
| 20. Contenido de flavonoides totales en muestras de ingredientes utilizados en las barras de frijol y avena | 92 |
| 21. Capacidad antioxidante de harinas de frijol, avena y barras de frijol-avena | 93 |
| 22. Valores de los parámetros obtenidos en la prueba de corte de las barras de frijol y avena | 99 |
| 23. Valores de los parámetros obtenidos en la prueba de tres puntos de las barras de frijol y avena | 104 |
| 24. Valores de los parámetros obtenidos en la prueba de punción de las barras de frijol y avena. | 106 |

I.INTRODUCCIÓN

Los alimentos nutraceuticos han tomado gran importancia en los últimos años, no sólo por los beneficios otorgados a la salud, sino porque algunos de ellos forman parte los alimentos tradicionales de nuestra cultura.

Plantas como el frijol y la avena cuyo poder nutricional y/o nutraceutico ha sido estudiado recientemente, han empezado a incursionar en las tecnologías para la elaboración de alimentos mínimamente procesados y/o procesados que puedan tener una vida media o de almacenamiento más prolongada. Esto ofrece una gran ventaja ya que permite expandir su mercado de consumo. Asimismo, se pueden obtener productos alimenticios enriquecidos en compuestos nutraceuticos.

Dentro de este grupo de alimentos, las barras nutritivas han cobrado gran auge en los últimos años debido a que son vehículos excelentes para la incorporación de ingredientes nutraceuticos. También, cubre otras características que el consumidor actual demanda, incluyendo la preferencia de alimentos rápidos, balanceados nutricionalmente y con facilidad de transporte.

Una fuente importante de compuestos nutraceuticos es el frijol común, el cual ha sido un alimento básico en la dieta de los habitantes de América Latina, lugar de origen de esta leguminosa. Su presencia a lo largo de la historia lo ha convertido en un alimento tradicional y en un aspecto de identificación personal. El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) representa un importante aporte de proteína, carbohidratos y vitaminas, además de fitoquímicos a los que se les han atribuido ciertas propiedades benéficas.

Destacan por su importancia dentro de los fitoquímicos los compuestos fenólicos puesto que exhiben actividad antimutagénica, anticarcinogénica y antioxidante. Cantidades considerables de flavonoides se encuentran en la cascarilla, los cuales actúan como antioxidantes, inducen enzimas de fase II, inhiben la mitosis e inducen apoptosis. Por otra parte, polisacáridos indigeribles incluyendo fibra dietética (soluble e insoluble) y almidón resistente, que contiene el frijol, también presentan actividad biológica como: disminución de colesterol, del riesgo de desarrollo de cáncer de colon y enfermedades cardiovasculares, actividad bifidogénica, incremento del volumen fecal y beneficios especiales para los diabéticos.

A pesar de los beneficios que proporciona a la salud el consumo de frijol, su ingesta promedio ha disminuido notablemente en los últimos años en México, pasando de un consumo per cápita anual de 18.9 a 12 kg en el periodo de 1990 a 2008.

Por otro lado, la avena también ha sido recientemente reconocida por su potencial nutracéutico atribuido principalmente a la fibra soluble, especialmente β -glucanos y fructanos, compuestos a los que se les ha comprobado efectos benéficos como reducción de colesterol, estabilización de niveles de glucosa en suero sanguíneo en pacientes con diabetes tipo II, así como, en la prevención de enfermedades cardiovasculares.

Cabe destacar que la mezcla de cereales-leguminosas aporta a la dieta proteína de buena calidad. La avena por lo general es deficiente en lisina, pero ésta se encuentra en buena proporción en el frijol que a su vez es deficiente en aminoácidos azufrados (como triptófano) presentes en avena.

Tomando en cuenta los factores de complementación nutricional y nutracéutica de la mezcla frijol-avena, se propone la elaboración de un alimento nutracéutico tipo barra como un medio para incrementar el consumo de frijol.

II. ANTECEDENTES

2.1. Botanas

Se define una botana como una comida pequeña y ligera que cumple varias condiciones; fácil de manipular, accesible, estar lista para consumo, consistir en raciones individuales y satisfacer la sensación de hambre momentáneamente (Pérez-Navarrete *et al.*, 2006). Muchas han evolucionado hasta llegar a ofrecer un balance de nutrientes o propiedades benéficas para la salud de los consumidores. Tal es el caso de una diversidad de barras que se encuentran en el mercado y que tienen como distintivo la inclusión de ingredientes que aportan un beneficio adicional, el cual puede deberse a la naturaleza orgánica de sus componentes, un contenido alto en fibra o un menor contenido calórico.

2.1.1. Generalidades

La incidencia cada vez mayor de enfermedades como obesidad, diabetes, cáncer y enfermedades cardiovasculares, han dado pie a la generación de alimentos que contribuyan a prevenir o incluso a disminuir sus efectos. Una alternativa de alimento nutracéutico de creciente demanda entre los consumidores, con la ventaja de ser rápida y económica, son las botanas. Dentro de este rubro, las barras de cereal o nutritivas se han convertido en un importante alimento de conveniencia.

El ritmo de expansión del mercado de las barras nutricionales se puede atribuir, en parte, a los cambios que han ocurrido en los hábitos alimenticios de los consumidores en los últimos años. De acuerdo a la Cámara Nacional de Comercio (CANACO) en 2005, una buena alimentación diaria cuesta más de dos salarios mínimos, por lo que una gran parte de mexicanos está sujeta al mercado informal de comidas, el cual desafortunadamente produce alimentos grasosos y con exceso de carbohidratos. Aunado a esto, la incorporación de la mujer al trabajo y el ritmo de vida más rápido han impulsado el crecimiento del sector de botanas debido a que las personas buscan y aprecian la comodidad.

En el mercado es posible encontrar barras de cereales/granola, barras proteínicas, dietéticas, de control de peso, bajo contenido de carbohidratos y alto contenido de fibra, satisfaciendo las tendencias que apuntan a mantener una buena salud. La adición de compuestos

nutracéuticos se ha utilizado desde el punto de vista mercadológico para llegar a nichos específicos, siendo las barras el vehículo por excelencia debido a las oportunidades que presenta para agregar fortificación o ingredientes suplementarios adicionales (Industria Alimenticia, 2009).

Actualmente se encuentra disponible una vasta variedad de ingredientes nutracéuticos. Por ejemplo, el Departamento de Agricultura de Estados Unidos desarrolló recientemente una harina de avena (Oatrim) que se puede utilizar como sustituto de grasa para cocinar. Otro ejemplo similar ha sido desarrollado por Finland's Finn Cereal Company, el cual ha comercializado una harina (Natureal) que actúa como estabilizador de los niveles de azúcar en sangre (Carlson y Kaeppler, 2007).

2.1.2. Métodos para el desarrollo

En México no se cuenta con una legislación específica para botanas o barras nutritivas. Sin embargo, es necesario apegarse a una serie de normas obligatorias para todos los alimentos elaborados en nuestro país.

- Norma Oficial Mexicana NOM-086-SSA1-1994. Bienes y servicios. Alimentos y bebidas no alcohólicas con modificaciones en su composición. Especificaciones nutrimentales.
- Norma Oficial Mexicana NOM-051-SSA1-1994. Especificaciones generales de etiquetado para alimentos y bebidas no alcohólicas preenvasados.
- Norma Oficial Mexicana NOM-120-SSA1-1994. Prácticas de Higiene y Sanidad para el Proceso de Alimentos, Bebidas no Alcohólicas y Alcohólicas.
- Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-147-SSA1-1996, Bienes y servicios. Cereales y sus productos. Harinas de cereales, alimentos a base de cereales, de semillas comestibles, harinas o sus mezclas y productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales.

Una barra de cereales tipo puede contener una base de avena triturada, miel, aceite de soya, trigo entero, cebada triturada, triticale triturado, coco seco sin dulzor, láminas de arroz entero, suero de leche deslactosada, miel, saborizantes de malta como agentes ligantes;

edulcorantes naturales o materias grasas (Komen, 1987; Tettweiler, 1991). Estévez *et al.* (2000) elaboraron barras de cereales con cotiledón de algarrobo, con una inclusión de avena del 15%, 18% y 21%. Como agente aglutinante se usó una mezcla de edulcorantes naturales (miel de abeja, miel de palma y jarabe de azúcar rubia), así como materias grasas (aceite de girasol, lecitina y glicerina). Debido a la diversidad de ingredientes que pueden incluirse en su formulación, las barras alimenticias han sido utilizadas como vehículos de adición de compuestos nutraceuticos.

Debido a que existe una gran diversidad de barras y de ingredientes utilizados para su elaboración, se llevó a cabo una revisión en la etiqueta de la formulación de los productos de este tipo que se comercializan en México. De esta manera, se pudo observar cuáles son los ingredientes más comúnmente usados por la industria. En el Cuadro 1 se muestra el comparativo de ingredientes utilizados en varias marcas comerciales de barras nutritivas.

Los ingredientes con mayor frecuencia de inclusión fueron hojuelas de avena, harina de trigo, azúcar y sal. Como emulsificantes, los más empleados fueron jarabe de maíz, aceite vegetal y lecitina de soya, y como conservador, BHT.

Cuadro 1. Comparativo de ingredientes utilizados en barras nutritivas comerciales en México

| Ingrediente | QCH1 | QH2 | QV | QS | ACY | KCF | CLR | KNA | KAL | BMA |
|---|------|-----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Avena | | | X | X | | | X | X | X | X |
| Fibra de Avena | | | | | | | | | X | |
| Hojuelas de avena | X | X | | X | X | X | | | | |
| Harina de trigo | X | X | X | X | | | | X | X | X |
| Hojuelas de maíz | X | | | | | | | | | |
| Harina de maíz | | | | | | X | | | | |
| Hojuelas de trigo | X | X | | | | | | | | |
| Amaranto | | | | | | | | X | | |
| Azúcar | X | X | X | X | | X | | X | X | X |
| Jarabe de maíz | X | X | X | X | | X | | | | X |
| Glucosa/Jarabe de glucosa | | | | | X | X | X | | | |
| Miel | X | | | | | X | | X | | |
| Fructosa | X | | | | | | | | | |
| Dextrosa | | | | | | | | X | X | |
| Extracto de malta | | | | | | X | | | | |
| Melaza | X | X | | | | | | | | |
| Sólidos de leche | | X | | | X | | | | | |
| Yoghurt en polvo | | | | | X | | | | | |
| Huevo | | | | | | | | | X | X |
| Aceite vegetal parcialmente hidrogenado | X | X | | X | X | | | X | | |
| Aceites vegetales | | | | | X | X | | X | X | X |
| Grasa de palma | | | X | | | | | | | |
| Grasa butírica | | | | | | | | | | X |
| Almidón de maíz | X | | | X | | | | | | |
| Sorbitol | X | | | | | | X | X | | |
| Lecitina de soya | X | X | X | X | X | X | | X | | |
| Glicerina | X | X | | | | | | X | | |
| Maltodextrina | | | | | X | | | X | | |
| Estearol | | | X | X | | | | | | |
| Lactilato de sodio | | | X | X | | | | | | |
| Ester de ácido diacetil tartárico | | | X | | | | | | X | X |
| Polidextrosa | | | | | | | X | | | |
| Goma Guar | | | X | | | | | | | |
| Goma Acacia | | | | | | | X | | | |
| Pectina | X | | | | | | | | | |
| Ácido cítrico | X | X | | | X | | | | | X |
| Alginato de sodio | X | | | | | | | | | |
| Sal | X | X | | X | X | X | | X | X | X |
| BHT | X | X | | | X | | | X | | |
| Benzoato de sodio | | | | | | | | | | X |

QCH1 - Quaker-Chewy Fruit n° Cruch-strawberry (40 g), QCH1 -Quaker Chewy Granola Bar Chocolate Chip (28.3 g), QV - Quaker Vitali pasas (27.5g), QS - Quaker Stila moras (25 g), ACY - Arcor cereales con frutilla y yoghurt cereal mix (28 g), KCF - Kraft Cerealitas con frutas (23 g), CLR - Cereal Light Ritter (25 g), KNA - Kellogg's Nutridía Amaranto (28 g), KAL - Kellogg's All bran Linaza integral (38 g), BMA - Bimbo Multigrano Avena (34 g).

2.2. Alimentos nutraceuticos

Las tendencias actuales en investigación apuntan a retomar los alimentos naturales y los beneficios que estos aportan al organismo. Se ha descubierto que mediante la dieta se puede mantener un buen estado de salud y reducir el riesgo de algunas enfermedades (Morrissey, 2002). A partir de este concepto, cobra importancia el terreno de los alimentos nutraceuticos.

2.2.1. Definición

Los compuestos nutraceuticos se pueden definir como un elemento purificado o aislado de materiales biológicos. Es una sustancia natural bioactiva concentrada presente usualmente en los alimentos y que, tomada en dosis superior a la existente en esos alimentos, presumiblemente tiene un efecto favorable sobre la salud mayor que el que podría tener el alimento normal (Guzmán-Maldonado y Paredes-López, 1998; Wildman, 2001; Shi *et al.*, 2002).

Por otra parte, pueden formar parte de la dieta normal, además de proporcionar beneficios médicos o para la salud incluyendo la prevención y tratamiento de enfermedades (Morrissey, 2002).

2.2.2. Clasificación de nutraceuticos

Se pueden agrupar en tres categorías:

- Dependiendo de su fuente de origen: vegetal animal o microbiana.
- Dependiendo de su mecanismo de acción: propiedades fisiológicas demostradas o que se le atribuyen.
- Dependiendo de su naturaleza química: categorización de acuerdo a su estructura molecular elemental (isoprenoides, compuestos fenólicos, lípidos estructurales, carbohidratos, minerales).

2.2.3. Compuestos bioactivos presentes en alimentos nutraceuticos

Se sabe que además de los nutrimentos esenciales para una buena salud, ciertos alimentos tienen compuestos químicos o que se producen a través de ciertas reacciones que suceden en el organismo cuando es consumido (Paredes-López *et al.*, 2006). Se les conoce como fitoquímicos o compuestos bioactivos.

Los granos enteros son una fuente de fitoquímicos que tienen un efecto positivo en la salud. Éstos incluyen concentraciones considerables de fenoles con actividad antioxidante, fibra dietética, almidones y oligosacáridos, fitatos, fitoestrógenos como lignanos, estanoles, esteroides, vitaminas y minerales (Vermerris y Nicholson, 2006). Estudios epidemiológicos sugieren que su ingesta confiere protección contra el riesgo de desarrollar cáncer, enfermedades cardiovasculares, diabetes y obesidad (Slavin *et al.*, 2004).

2.3. Frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.)

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es originario de Mesoamérica y ha sido un alimento muy importante para la población mexicana, se considera una fuente significativa de proteína, carbohidratos y vitaminas (Serrano y Goñi, 2004).

Actualmente, la producción nacional de esta leguminosa ocupa el segundo lugar por la superficie destinada a su cultivo; 1.7 millones de hectáreas en todo el territorio nacional. El valor de la producción representa el 1.1% del Producto Interno Bruto Agroalimentario (SAGARPA, 2008).

Se considera que en total existen cerca de 150 especies, de las cuales en México se encuentran 50 (SAGARPA, 2008). Se sabe que el frijol como se consume actualmente llevó un proceso de domesticación, lo que tuvo como consecuencia la diversificación del género *Phaseolus*. Existen cinco especies cultivadas dentro de éste género: *P. vulgaris* o frijol común, *P. acutifolius* o frijol tépari, *P. lunatus* o frijol lima, *P. coccineus* o frijol escarlata y *P. polyanthus* o frijol anual (Paredes-López *et al.*, 2006)

Desafortunadamente, el consumo per cápita de los mexicanos ha disminuido considerablemente, pasando de 22 kg (Castellanos *et al.*, 1997) a 12 kg en 2005 (SAGARPA, 2008). Paralelamente, se ha incrementado el consumo de alimentos pobres en fibra y procesados, lo que ha conllevado al aumento de enfermedades crónico degenerativas.

2.3.1. Composición

En el Cuadro 2 se presenta la composición química del frijol común y los requerimientos mínimos diarios para adultos. Las proteínas y los carbohidratos son los compuestos mayoritarios presentes en todos los genotipos de frijol común estudiados (Gonzalez de Mejía *et al.*, 2005). La proteína de frijol se caracteriza por su deficiencia en aminoácidos azufrados como metionina y cisteína, así como de triptófano. Sin embargo, tiene un elevado nivel de lisina, suficiente para cubrir los requerimientos actuales para niños y adultos de acuerdo a la Organización Mundial de la Salud y de las Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (Paredes-López *et al.*, 2006). Lo anterior tiene gran relevancia puesto que al combinarse con cereales, la mezcla aporta a la dieta proteína de buena calidad, complementando las deficiencias en aminoácidos esenciales que representarían por separado.

Respecto al contenido de minerales, esta leguminosa es una buena fuente de calcio, fósforo, hierro y zinc; también lo es de las vitaminas hidrosolubles tiamina, riboflavina, niacina, vitamina B5 y ácido fólico. Ácidos grasos esenciales como linoléico y linolénico, así como fibra dietética son otros componentes presentes en esta leguminosa (Reyes-Moreno y Paredes-López, 1993).

Además de los compuestos mayoritarios de la semilla, ciertos compuestos bioactivos están presentes. Los de mayor relevancia son los compuestos fenólicos y polisacáridos indigeribles

Cuadro 2. Indicadores químicos y nutrimentales del frijol común (*P. vulgaris*)

| Indicadores | Contenido | Requerimientos mínimos diarios (adulto) |
|---|-------------|---|
| COMPOSICIÓN QUÍMICA (%) | | |
| Proteína | 14 – 33 | |
| Lípidos | 1.5 – 6.2 | |
| Fibra total | 14 – 19 | |
| Insoluble | 10.1 – 13.4 | |
| Soluble | 3.1 – 7.6 | |
| Cenizas | 2.9 – 4.5 | |
| Carbohidratos | 52 – 76 | |
| CALIDAD DE PROTEÍNA | | |
| Digestibilidad (%) | 52 – 75 | |
| Relación de eficiencia proteínica | 0.7 – 1.5 | |
| AMINOÁCIDOS ESENCIALES (g/100g 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 | |

^a Miligramos de equivalentes de catequina por gramo

^b Unidades de inhibición de tripsina por miligramo

(Paredes-López *et al.*, 2006)

2.3.2. Compuestos bioactivos presentes en el frijol común

Se ha señalado al frijol como un alimento nutracéutico debido a que contiene sustancias bioactivas que tienen un efecto sobre la salud. Entre los principales compuestos bioactivos en el frijol se encuentran inhibidores de enzimas, lectinas, fitatos, compuestos fenólicos (taninos condensados y flavonoides) y polisacáridos (Champ, 2002). Destacan por su importancia los compuestos fenólicos debido a que exhiben capacidad antimutagénica y antioxidante (Cardador-Martínez *et al.*, 2002a).

Asímismo, polisacáridos indigeribles incluyendo fibra dietética (soluble e insoluble) y almidón resistente también presentan actividad biológica; como disminución de los niveles de colesterol sanguíneo, disminución de riesgo de cáncer de colon y enfermedades cardiovasculares, actividad bifidogénica (Queiroz-Monici *et al.*, 2005), incremento del volumen fecal y beneficios especiales para los diabéticos (Paredes-López y Valverde, 2006).

2.3.2.1. Compuestos fenólicos

Químicamente, se pueden definir como sustancias que poseen un anillo aromático unido a uno o más grupos hidroxilo, incluyendo sus derivados con algún grupo funcional (Shahidi y Naczki, 1995). Son considerados metabolitos secundarios de plantas, su forma más frecuente es la de polímero o lignina insoluble (Martínez-Valverde *et al.*, 2000).

En el frijol común la cascarilla (testa) muestra una elevada concentración de compuestos fenólicos (Oomah *et al.*, 2005; Gálvez-Ranilla *et al.*, 2007) en comparación con los cotiledones, los cuales son ricos en ácido hidroxicinámico y derivados. La pigmentación de la semilla ha sido asociada con la presencia de estos compuestos, siendo las variedades rojas y negras las que tienen una mayor concentración de polifenoles (Islam, 2003)

Dentro de los compuestos fenólicos, los que destacan más son los flavonoides, como glucósidos de flavonol, taninos condensados (proantocianidinas) y antocianinas (Beninger y Hosfield, 2003; De Mejía *et al.*, 2003; Romani *et al.*, 2004). Recientemente, 22 compuestos incluyendo 12 triterpenoides, 7 flavonoides y 5 otros fitoquímicos se aislaron e identificaron de extractos de cascarilla de frijol negro (Dong *et al.*, 2007).

Adicionalmente, a los efectos sobre la salud ya mencionados, los compuestos fenólicos pueden inhibir agentes mutagénicos como hidrocarburos policíclicos aromáticos, nitrosaminas y

micotoxinas (Martínez *et al.*, 2003; Kim, 2004; Young *et al.*, 2004). Cardador-Martínez *et al.* (2002a) demostró un efecto inhibitorio del extracto metanólico rico en compuestos fenólicos (PE) presentes en frijol común variedad Flor de Mayo FM-38, sobre la mutagenicidad inducida por aflatoxina B₁ (AFB₁) en el ensayo de microsuspensión, empleando cepas de *Salmonella typhimurium* TA98 y TA100 de una manera dosis-dependiente. Los resultados de un ensayo de doble incubación de dichos compuestos con AFB₁, sugieren una interacción directa y no enzimática de los compuestos fenólicos con el producto final mutagénico de esta toxina (AFB₁-8,9-epóxido), o bien la formación de un complejo PE-AFB₁ de manera que se reduce la biodisponibilidad de la última.

2.3.2.1.1. Flavonoides

En plantas, los flavonoides actúan como defensa contra insectos o ataques de agentes patógenos, protección contra radiaciones UV dañinas, antioxidantes o guías para la polinización (Wildman, 2001; Havsteen, 2002). Se sabe que los pigmentos responsables del color de las semillas de frijol son principalmente flavonoides (Beninger y Hosfield, 2003).

El término flavonoide describe los formas químicas que incluyan C₆-C₃-C₆ o específicamente 2-fenilbenzopiranos (Grotewold, 2006). La estructura química del flavan, la forma básica a partir de la cual se derivan los diferentes compuestos que se engloban en este grupo, se muestra en la Figura 1.

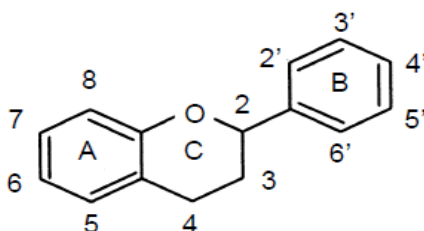


Figura 1. Estructura química de flavonoides (flavan)

(Grotewold, 2006)

Los flavonoles son dentro de este grupo, los más abundantes en los alimentos, de los cuales los más comunes son la quercetina, el kaempferol y miricetina (Marchand, 2002). Diversas formas glicosídicas de estos compuestos han sido identificadas en semillas de frijol común (Díaz-Batalla *et al.*, 2006).

Los flavonoides se encuentran en alimentos principalmente como O-glicósidos, donde la glucosa es el azúcar que predomina. Al ingerirlas, el organismo biotransforma estas formas glicosídicas, hidrolizando los enlaces O- β -glucosídicos a sus correspondientes agliconas en el intestino por la microflora y β -glucosidasas (Day *et al.*, 2000; Hur *et al.*, 2000; Schenider *et al.*, 2000). Marotti *et al.* (2007), realizaron un estudio con 5 cepas de bifidobacterias capaces de biotransformar glicósidos de flavonoides presentes en frijol común y evaluaron el potencial prebiótico de estos compuestos, encontrando que efectivamente kaempferol 3-O-glucósido, kaempferol 3-Oxiloglucósido, daidzeína, genisteína y glicitina fueron biotransformados a sus formas aglicónicas.

La importancia de los flavonoides radica en que posee propiedades antiinflamatorias, antioxidantes, antitrombóticas y anticarcinogénicas (Snijman *et al.*, 2007). Por otra parte, Koga y Meydani (2001) confirmaron beneficios cardiovasculares de metabolitos de flavonoides en plasma de rata, atribuidos a su adhesión a monocitos (leucocitos mononucleares de gran tamaño en la sangre) en el proceso inflamatorio de aterosclerosis. En este estudio se concluye que la conversión metabólica de quercetina y (+)-catequina a su forma glucuronidada, metilada o sulfatada modifica la actividad biológica de flavonoides, por lo que se sugiere que son estos metabolitos (no las formas intactas) las que contribuyen al efecto benéfico reduciendo el riesgo de enfermedades cardiovasculares.

2.3.2.1.2. Antocianinas

Otro tipo de flavonoides presentes en frijol son las antocianinas, las cuales en conjunto con taninos condensados y glicósidos de flavonoles, contribuyen a la coloración de la semilla de frijol común, especialmente en variedades oscuras como el azul o negro (Beninger *et al.*, 1999). En la Figura 2 se muestra la estructura química de una antocianina, la cianidina.

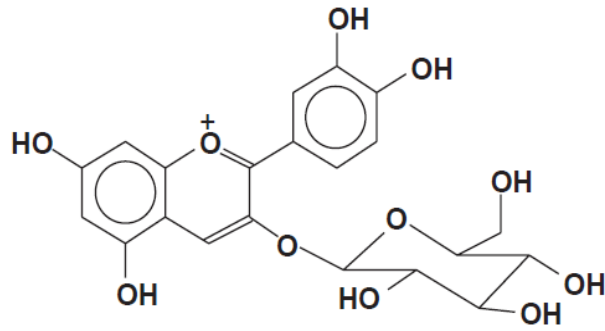


Figura 2. Estructura química de antocianinas (cianina)

(Espín y Tomás-Barberán, 2005)

Galvez-Ranilla *et al.* (2007), detectó niveles elevados de antocianinas y quercetina en testa de frijol negro y rojo, mientras que variedades amarillas y cafés eran más ricas en glicósidos de kaempferol.

Adicionalmente, Beninger y Hosfield (2003) demostraron que tres antocianinas (delfinina 3-*O*-glucósido, petunidina 3-*O*-glucósido y en menor proporción malvidina 3-*O*-glucósido), presentes en cascarilla de frijol común tuvieron capacidad antioxidante significativa en comparación con BHT, un antioxidante que se usa comercialmente en alimentos.

La cantidad de antocianinas presentes en la cascarilla de *P. vulgaris* puede variar debido a diferentes factores, como factores ambientales en el campo, variedad, tiempo de almacenamiento, etc. Por ejemplo, Aparicio-Fernández *et al.* (2005), reportaron un contenido de antocianinas totales en frijol negro variedad Jamapa de 7.6 ± 0.1 mg de cianidin-3-glucósido por gramo de cascarilla, mientras que el mismo material después de dos años de almacenamiento disminuyó su contenido de antocianinas a 1.87 ± 0.34 mg de cianidin-3-glucósido/ g cascarilla, lo cual es cuatro veces menor que en las semillas recién cosechadas. En ensayos *in vitro* empleando líneas celulares de cáncer de colon, las proantocianidinas inducen apoptosis e inhiben la proliferación celular (Gosse *et al.*, 2005). Veeriah *et al.* (2006), demostraron que ciertos flavonoides (especialmente quercetina) en conjunto con otros polifenoles de manzana, tienen un efecto antiproliferativo sobre la sobrevivencia de adenoma de colon (LT97) y líneas celulares de carcinoma de colon humano (HT29). También, se ha informado que las antocianinas inducen el arresto al ciclo celular y apoptosis en líneas celulares de cáncer de colon humano (Zhao *et al.*, 2006).

2.3.2.1.3. Taninos condensados

Los taninos condensados o proantocianidinas comprenden un grupo de oligómeros y polímeros del tipo polihidroxi flavan-3-ol que son sintetizados a través de la ruta de los flavonoides (Dixon *et al.*, 2005), cuyo peso molecular es mayor a 1,000 Da. La estructura general de los taninos condensados se muestra en la Figura 3.

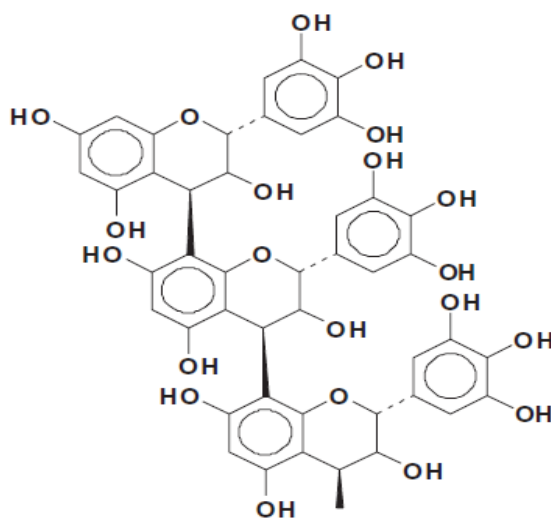


Figura 3. Estructura química de taninos condensados (trímero de prodelfinina)

(Espín y Tomás-Barberán , 2005)

Su función depende del lugar de síntesis dentro de las plantas. Se acumulan en las hojas teniendo como función prevenir el ataque de insectos, mientras que si están presentes en la cascarilla de semillas pueden actuar contra infecciones de tipo fúngico (Winkel-Shirley, 2001).

Varios autores han sugerido una posible relación entre los niveles de taninos condensados y el color de la testa del frijol común. Por ejemplo, Espinosa-Alonso *et al.* (2006) han informado que el contenido de fenoles totales y de taninos condensados tienden a incrementar conforme el color de la semilla se vuelve más claro. En contraste, Barampama y Simard (1993) reportaron que variedades de color claro tienen menor cantidad de taninos que las oscuras. Por otra parte, Gálvez-Ranilla *et al.* (2007) informaron que variedades brasileñas de frijol común con pigmentación roja y café tienden a tener niveles más altos de fenoles totales y taninos condensados que las variedades negras; a su vez, semillas amarillas y blancas no exhiben considerables cantidades de estos compuestos.

En leguminosas, los taninos condensados precipitan con proteínas y forman complejos con el hierro en el lumen gastrointestinal reduciendo la biodisponibilidad de los minerales del grano (Marles *et al.*, 2003; Mira *et al.*, 2002), por lo que son considerados factores antinutricionales.

Sin embargo, existe cada vez más evidencia que estos componentes están implicados en la prevención de algunas enfermedades crónico-degenerativas, como cáncer, enfermedades cardiovasculares y diabetes (Regina *et al.*, 2003; Azevedo *et al.*, 2003). Asimismo, los taninos condensados e hidrolizables han sido considerados como efectivos antioxidantes, antimutagénicos (Cardador-Martínez *et al.*, 2002a; Cardador-Martínez *et al.*, 2002b) y anticarcinogénicos (Galati *et al.*, 2004), además de prevenir enfermedades cardiovasculares (Santos-Buelga y Scalbert, 2000).

Además de las propiedades anteriormente mencionadas, también se ha sugerido una relativa actividad alta de taninos obtenidos de extractos de frijol común contra *Listeria monocytogenes* (Ryszard *et al.*, 2008).

2.3.2.1.4. Capacidad antioxidante de compuestos fenólicos en frijol común

Ensayos *in vitro* han permitido comprobar alta capacidad antioxidante del frijol común (Beninger y Hosfield, 2003; Xu y Chang, 2007; Xu *et al.*, 2007), la cual se ha atribuido a los compuestos fenólicos (Pieta, 2000; Murphy y Hendrich, 2002; Yeh y Yen, 2003).

Oomah *et al.* (2005), reporta una fuerte correlación entre el contenido de compuestos fenólicos en la cáscara de diferentes cultivares de frijol canadiense, con capacidad antioxidante y antiradical. De acuerdo a este estudio, el contenido de flavonoles y flavonoides están asociados con la primera propiedad, mientras que el de antocianinas con la última.

Existe controversia en el papel que juegan los diversos derivados fenólicos que pudieran ser responsables de dicha actividad. Algunos investigadores sugieren que compuestos fenólicos como los taninos condensados y fenoles totales presentes en la cascarilla de frijol común son los responsables de esta capacidad antioxidante (Hagerman *et al.*, 1998; Cardador-Martínez *et al.*, 2002b; Beninger y Hosfield, 2003; Heimler *et al.*, 2005; Oomah *et al.*, 2005; Gálvez-Ranilla *et al.*, 2007). Beninger y Hosfield (2003), reportaron que extractos de taninos de *P. vulgaris* de alto peso molecular poseen mayor actividad que los fenoles simples y flavonoides. Por otra parte, Aparicio-Fernández *et al.* (2008) evaluó la capacidad antiradical de proantocianidinas en extractos metanólicos de la variedad negro Jamapa, encontrando una mejor acción que BHT.

Por su parte, Cardador-Martínez *et al.* (2002b), determinó capacidad antioxidante en frijol común cv. Flor de Mayo FM-38, por el método del β -caroteno, encontrando que presentaba dicha capacidad solamente la fracción correspondiente a la cascarilla (por método de abrasión y manual), lo cual sugiere que ésta se concentra en las proximidades de la superficie de la semilla. Estas mismas fracciones presentaron capacidad antiradical (evaluada por método DPPH), incluso al doble de BHT, un antioxidante usado comúnmente en productos alimenticios.

2.3.2.2. Polisacáridos indigeribles

Ciertos tipos de carbohidratos presentan una forma física que los hace inaccesibles para la acción de enzimas digestivas. Se sabe que el sistema digestivo humano carece de α -galactosidasas para degradarlos, por lo que éstos pasan al intestino grueso sin ser digeridos (Kozłowska *et al.*, 2001). Posteriormente, estos polisacáridos ingresan al colon prácticamente intactos, donde son fermentados por bacterias colónicas para producir ácidos grasos de cadena corta, dióxido de carbono y metano, entre otros productos (Macdonald, 1994, Granito *et al.*, 2001).

Se cuentan entre este tipo de polisacáridos la fibra dietética, almidón resistente y oligosacáridos no digeribles que juegan un papel metabólico en humanos (Champ, 2002).

Recientemente, Saura-Calixto y Goñi (2004) propusieron el término de fracción dietética indigerible (DIF), la cual se define como la porción de los alimentos vegetales que es no digerida en el intestino delgado y alcanza el colon, donde sirve como sustrato para la microflora fermentativa. En esta fracción se engloban no sólo carbohidratos como la fibra dietética, sino también proteínas indigeribles, almidón resistente y otros compuestos asociados que no pueden ser degradados.

2.3.2.2.1 Fibra

De acuerdo a Ha *et al.* (2000), la fibra se define como cualquier componente de la dieta que llega al colon sin haber sido absorbido en el intestino humano sano. La fibra se divide en microbiológicamente degradable o no degradable por la flora colónica y éstas a su vez se subdividen en material de las paredes vegetales, material no proveniente de las paredes vegetales y material físicamente atrapado en los anteriores. Incluye polisacáridos, oligosacáridos, celulosa, hemicelulosa, pectinas y algunas otras sustancias que no corresponden al grupo de carbohidratos tales como la lignina, cuya característica genérica es que no pueden ser digeridos por el organismo humano.

Dentro del grupo de las leguminosas (*Phaseolus vulgaris* L., *Pisum sativum* L., *Cicer arietinum* L., *Lens culinaris* Med), es el frijol común el que posee mayor contenido de fibra, 26.8 g/100 g de materia en el grano cocido (Queiroz-Monici *et al.*, 2005). Estos datos concuerdan con los datos publicados por Paredes-López y Valverde (2006), quienes reportaron 27% para frijol cocido y para el crudo 16-19%. La fibra dietética total se compone de dos fracciones, la soluble (FDS) y la insoluble (FDI).

Los reportes del contenido de estas dos fracciones tienen grandes fluctuaciones, variando en un rango que va de un 65-69% para fibra dietética insoluble (IDF) y 32-35% para fibra dietética soluble (SDF), (Acevedo y Bressani, 1989; Acevedo *et al.*, 1994) hasta 88% IDF y 12 % SDF (Queiroz-Monici *et al.*, 2005).

La fibra tiene la capacidad de retener agua, por tanto limita o disminuye la velocidad de absorción de algunos nutrientes y favorece el tránsito intestinal. Dadas estas características, permite una absorción más lenta de la glucosa, lo cual condiciona índices glicémicos moderados y contribuye a controlar la hiperinsulinemia (Chandalia *et al.*, 2000)

La fracción insoluble ejerce una acción mecánica en el tracto gastrointestinal, incrementando el volumen fecal, lo cual conlleva a una disminución en el tiempo de tránsito intestinal. Por el contrario, la fibra soluble tiene un papel metabólico, relacionado con un efecto viscoso. Tiende a estabilizar los niveles de glucosa en sangre y la concentración de insulina postprandial, además de disminuir los niveles de colesterol sérico asociado a la pérdida de ácidos biliares vía materia fecal (Shils *et al.*, 2003). Adicionalmente se ha observado que este tipo de fibra es susceptible de fermentación en el intestino grueso, con la consiguiente formación de metano, hidrógeno y ácidos grasos de cadena corta (Macdonald, 1994; Granito *et al.*, 2001, Shils *et al.*,

2003). Éstos ácidos grasos contribuyen al incremento de la biomasa en el intestino, al representar una forma de energía tanto para los colonocitos, como para la microflora (Topping y Clifton 2001). Este tipo de carbohidratos son considerados bifidogénicos por su capacidad de estimular selectivamente el crecimiento o actividad de un limitado número de bacterias colónicas responsables de la producción de ácidos grasos de cadena corta y de alterar la dinámica intestinal (Roberfroid, 2001; Cummings *et al.*, 2001)

Una dieta alta en fibra dietética proveniente de plantas se ha asociado a un menor riesgo de otras enfermedades crónicas como enfermedades cardiovasculares y diabetes (Kutos *et al.*, 2003; Pereira *et al.*, 2004). En poblaciones donde la ingesta es alta, se ha visto una incidencia y mortalidad baja en referencia a carcinogénesis colorectal (Hill, 2003) y enfermedades diverticulares (Kutos *et al.*, 2003). Este mecanismo protector que confiere la fibra, funciona incrementando el volumen de heces (Queiroz-Monici *et al.*, 2005), reduciendo el tiempo de tránsito intestinal y disminuyendo el contacto de carcinógenos y procarcinógenos en la materia fecal con la mucosa del colon (James, 2003). Al ser fermentada por la microflora, produce ácidos grasos de cadena corta que promueven la actividad quimiopreventiva además de atrapar ciertas sales biliares con potencial carcinogénico (Yickyun *et al.*, 2005).

2.3.2.2.2. Almidón resistente

Hasta hace algunos años se consideraba que el almidón era completamente digerido y absorbido en el intestino delgado de los humanos. Sin embargo, ahora se sabe que existe una fracción que es resistente a la digestión enzimática.

Englyst *et al.* (1992) propusieron la principal clasificación para este polisacárido. El almidón resistente tipo I (AR1), corresponde al almidón físicamente inaccesible, el cual se encuentra atrapado en una matriz celular, como en las semillas de leguminosas. El almidón resistente tipo II (AR2), consiste en gránulos nativos, que no han sufrido ningún proceso, como los de papa y plátano, cuya cristalinidad los hace menos susceptibles a la hidrólisis. El tipo III (AR3) comprende a los almidones retrogradados que se forman en alimentos cocinados y que son almacenados a cierta temperatura, donde el fenómeno de retrogradación se ha iniciado. Por último, el tipo IV (AR4) es el que se modifica por métodos químicos, físicos o enzimáticos y cuya estructura no es reconocida por las enzimas amilolíticas.

El almidón del frijol común tiene un efecto similar al de la fibra dietética porque es más resistente a la hidrólisis por las enzimas digestivas y una buena parte sigue su camino por el aparato digestivo produciendo compuestos (ácidos grasos de cadena corta, como butírico, acético y propiónico), que se han relacionado con la disminución del colesterol, mejor funcionamiento de las células del colon y baja respuesta glicémica e insulinémica (Paredes-López y Valverde, 2006).

El frijol común tiene como componente mayoritario 50-60% de carbohidratos, de los cuales el 35-45% está representado por almidón digerible, un segundo grupo con 5% en peso corresponde a mono y disacáridos, y el resto está compuesto por oligosacáridos de bajo peso molecular y carbohidratos no digeribles que forman parte de la pared celular (Martín-Cabrejas *et al.*, 2008). La presencia de altos niveles de fibra le confiere alta resistencia a esta pared evitando su ruptura durante el cocimiento, lo cual es un factor determinante para que el almidón tenga menor digestibilidad. Así mismo, la elevada concentración de proteínas de frijol también puede afectar la digestibilidad del almidón, de igual manera, los lípidos por su capacidad de formar complejos con este carbohidrato lo hacen menos susceptible a la acción de amilasas, aun cuando inhiben la retrogradación (Vargas-Torres *et al.*, 2006).

El contenido de almidón resistente en algunas variedades de frijol es importante debido a que se conocen efectos benéficos a la salud asociados a su consumo (Champ *et al.*, 2003). Por su potencial bifidogénico, una dieta rica en carbohidratos no disponibles fermentables, favorece el desarrollo de especies microbianas benéficas en detrimento de los patógenos (Fooks *et al.*, 1999). Por otra parte, se ha señalado que el almidón resistente de las leguminosas reduce la respuesta glicémica e insulinémica post-prandiales en mayor medida que el de cereales y tubérculos (Vargas-Torres *et al.*, 2004), además de que se ha sugerido que juega un papel importante en la pérdida de peso (Higgins *et al.*, 2004).

2.3.2.2.3. Oligosacáridos

Se componen de 3-10 residuos de monosacáridos unidos por enlaces glicosídicos. Los más comunes en *P. vulgaris*, denominados galactooligosacáridos o α -galactósidos, incluyen rafinosa, estaquiosa y verbascosa, los cuales se encuentran en altas cantidades en legumbres (Vaclavik y Christian, 2007). La presencia de α -galactósidos es una de las razones principales del bajo consumo de frijol común (Martín-Cabrejas *et al.*, 2006), puesto que son los responsables de las molestas flatulencias. Lo anterior ocurre debido a la ausencia de α -galactosidasas (EC 3.2.1.22) en

el tracto intestinal humano, por lo cual, los galactooligosacáridos son acumulados y fermentados, produciendo una considerable cantidad de gases. Así, estos compuestos son considerados inductores de desórdenes gastrointestinales, diarrea, flatulencia e incluso antinutrientes (De Lumen, 1992). En individuos con patologías colónicas, la flatulencia puede resultar en un problema más agudo como lo es el síndrome de intestino irritable (Martín-Cabrejas *et al.*, 2006).

A pesar de los aspectos negativos, los oligosacáridos pueden ejercer efectos benéficos, como reducir colesterol, presión sanguínea y tener efectos anticancerígenos (Paredes-López y Valverde, 2006). Además por su capacidad de ser fermentados, son considerados como prebióticos (Gibson *et al.*, 2004). Como resultado de la fermentación, se producen copiosas cantidades de ácidos grasos de cadena corta (Cummins *et al.*, 2001; Tungland y Meyer, 2002) que han sido asociados con efectos hipocolesterolémicos e inducción de apoptosis (Smith *et al.*, 1998; Roberfroid, 2000; Tungland y Meyer, 2002).

2.3.2.3. Péptidos funcionales

Estructuralmente, los péptidos son polímeros cortos de aminoácidos unidos por enlaces peptídicos. Se ha informado que muchas de las propiedades fisiológicas y funcionales de las proteínas están asociadas a la actividad biológica de los péptidos encriptadas en las moléculas de proteína. Algunas propiedades reportadas para estos péptidos incluyen actividad antihipertensiva, antioxidante, anticancerígena, antimicrobiana, inmunomodulatoria y disminución de niveles de colesterol. La actividad de estos compuestos es dependiente de su composición de aminoácidos y su secuencia (Shahidi y Zhong, 2008)

2.4. Avena (*Avena sativa* L.)

La avena común es un cereal importante a nivel global. Su producción y cultivo va enfocada primariamente para alimentación animal y humana en 70 países del mundo (FAOSTAT, 2006). Es un cultivo anual cuyo origen se supone en Asia. Ocupa el sexto lugar en producción mundial, sólo después de trigo, maíz, arroz, cebada y sorgo, pero difiere de estos en que es el más consumido en forma de grano entero (Shewry *et al.*, 2008).

Este cereal fue introducido a México a finales de los años veinte, cobrando auge a partir de este momento principalmente en los estados de México, Coahuila, Zacatecas y Chihuahua. Dentro

del género de la Avena se integran tres grupos de especies clasificados según el número de cromosomas. El primero, de 7 pares de cromosomas, comprende a *Avena brevis* o avena corta y *Avena nudibrevis*; el segundo con 14 pares incluye *Avena barbata* y *Avena abyssinca*. Por último el grupo de 21 pares de cromosomas abarca las especies de mayor interés agrícola y las de mayor cultivo: la avena roja (*Avena bizantina*) y la blanca (*Avena sativa*). Ésta última derivó de la avena silvestre o *Avena fatua* (ASERCA, 1994).

Por otra parte, la avena se ha distinguido entre los cereales por sus características multifuncionales y su perfil nutricional. Recientes avances en nutrición han revelado la importancia de sus componentes (Sadiq *et al.*, 2008).

2.4.1. Composición

La composición química de *Avena sativa* L. se muestra en el Cuadro 3. La avena tiene un contenido predominante de almidón (65-85%), proteína (15-20%), lípidos (3-11%) y aproximadamente 5% de fibra (Shewry *et al.*, 2008; Sur *et al.*, 2008). También es buena fuente de fibra dietética, especialmente β -glucanos; fenoles, minerales y otros nutrientes como folatos y esteroides que aportan beneficios a la salud (Sadiq *et al.*, 2008).

Cuadro 3. Composición promedio de *Avena sativa* L. cultivada en el campo experimental Sierra de Chihuahua

| Contenido de 100g de pasta de avena (Valores promedio) | |
|--|---------|
| Proteína | 13.3 gr |
| Grasa | 7 gr |
| Carbohidratos | 58.3 gr |
| Fibra dietética (total) | 9 gr |
| Minerales (total) | 1.9 gr |
| Calcio | 65 mg |
| Fósforo | 420 mg |
| Magnesio | 135 mg |
| Sodio | 5 mg |
| Potasio | 385 mg |
| Hierro | 4.5 mg |
| Manganeso | 4.5 mg |
| Cobre | 0.5 mg |
| Zinc | 4 mg |
| Vitamina B1 | 0.6 mg |
| Vitamina B2 | 0.15 mg |
| Niacina | 1 mg |
| Vitamina E | 1.5 mg |

ASERCA, 1994

2.4.2. Compuestos bioactivos presentes en avena

Recientemente, se han reconocido ciertos componentes presentes en avena por su potencial nutracéutico. Entre ellos destacan β -glucanos y algunos antioxidantes que han incrementado el interés en este cereal.

Los β -glucanos han mostrado ser benéficos en la reducción de colesterol, específicamente de lipoproteínas de baja densidad (LDL), también conocidas como colesterol “malo”. También se ha observado que tienen impacto en estabilizar los niveles de azúcar en sangre de pacientes con diabetes tipo II (Carlson y Kaeppler, 2007) y en la prevención de enfermedades del corazón (Wood, 2007).

En cuanto a antioxidantes, los más estudiados son los tocoferoles, tocotrienoles y derivados del ácido benzoico y cinámicos, así como algunos aldehídos (Peterson, 2001). Los tocoferoles son comunes en la mayoría de los cereales, siendo la avena especialmente rica en α -tocotrienol (Panfili *et al.*, 2003).

Actualmente se conocen otro tipo de antioxidantes exclusivos de este grano, las avenantramidas (Bratt *et al.*, 2003), las cuales han mostrado tener actividad en pruebas con tejidos humanos (Nie *et al.*, 2005).

Otros compuestos bioactivos como folatos han sido estudiados y relacionados en la prevención de defectos en el desarrollo del tubo neural durante el embarazo y en reducir los niveles de homocisteína en suero, un factor de riesgo en aterosclerosis (Bazzano *et al.*, 2002; Buttriss, 2004). También ciertos fitoesteroles presentan propiedades hipocolesterolémicas (Ostlund, 2002).

Para el presente estudio, es de especial interés la fibra soluble de avena, principalmente β -glucanos y fructanos.

2.4.2.1. β -glucanos

Los principales elementos de la pared celular del endospermo de la avena son los β -glucanos, polisacáridos que consisten en largas cadenas lineales de residuos de glucosa unidos por enlaces β -(1-3) y β -(1-4) (Alminger y Eklund-Jonsson, 2008). Se han reportado valores de estos compuestos en el grano que van de 2.3 a 8.5 g/100 g (Welch *et al.*, 2000). En la Figura 4 se muestra la estructura de los β -glucanos.

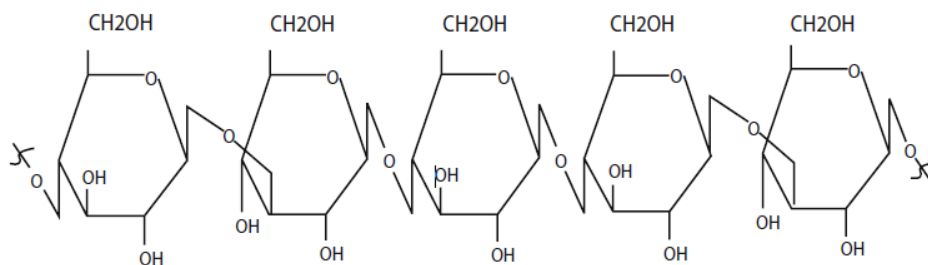


Figura 4. Estructura de β -glucanos

(Sadiq *et al.*, 2008)

Forman parte de la fibra soluble y se cree que son los componentes activos responsables de la reducción de glucosa en sangre y respuesta insulinémica después de una comida alta en fibra (Behall *et al.*, 2006).

Su papel en la prevención de la diabetes tipo II y disminución del riesgo de enfermedades del corazón es atribuido al incremento de viscosidad intestinal, lo cual es dependiente entre otros factores, de la concentración y el peso molecular de estos bioactivos (Wood *et al.*, 1994). Durante su paso a través del estómago y del intestino delgado, ciertos β -glucanos insolubles son parcialmente convertidos a su forma soluble, formando soluciones altamente viscosas. Además, no son digeridos hasta que alcanzan el intestino grueso donde son degradados por las bacterias intestinales (Dongowski *et al.*, 2005). Ambas cualidades, indigestibilidad y viscosidad ayudan a disminuir la absorción de ciertas sustancias, incluyendo colesterol y glucosa, además de que retarda el vaciamiento gástrico (Anderson y Che, 1986).

Los β -glucanos tienen excelentes propiedades funcionales y nutricionales, exhibiendo alta viscosidad a relativamente bajas concentraciones (1%), por lo que puede ser usado como agente espesante en productos alimentarios (Sadiq *et al.*, 2008) además de tener influencia sobre la calidad sensorial de bebidas (Lyly *et al.*, 2003)

2.4.2.2. Fructanos o fructooligosacáridos

Los fructanos o fructooligosacáridos (FOS) son polímeros de fructosa polidispersos que presentan tamaños y estructuras variables (Pollock y Cairns, 1991). Numerosas especies vegetales acumulan estos compuestos en órganos fotosintéticos (hojas) y de reserva (raíces, tubérculos y bulbos), específicamente en las vacuolas (Meier y Reid, 1982; Darwen y John, 1989). Los fructooligosacáridos más conocidos son los levanos y la inulina, sin embargo, sólo el último está presente en especies vegetales (Mateu de Antonio, 2004).

En cuanto a estructura, se pueden diferenciar cinco clases de fructanos de las cuales, sólo los fructanos basados en neo-cetosas con enlaces β -2,6 están presentes en avena. Dicha estructura se muestra en la Figura 5.

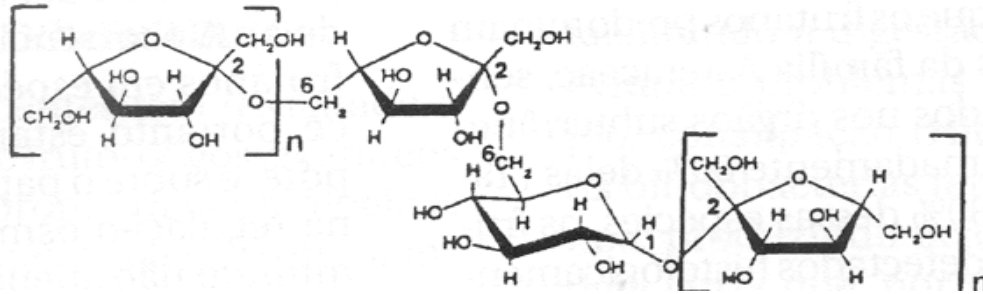


Figura 5. Fructano basado en neo-cetosas con enlaces β -2,6.

(Carvalho y Figueiro-Ribeiro, 2001)

Los fructanos resisten la acción de las enzimas digestivas y pasan al colon de forma íntegra por lo que diversos estudios han reportado que estos compuestos tienen potencial prebiótico (Bouhnik *et al.*, 1997; Menne *et al.*, 2000; Gibson *et al.*, 2004). Además de estimular selectivamente el crecimiento microbiano de bifidobacterias y lactobacilos (Hernot *et al.*, 2009) en el intestino grueso, pueden ser fermentados para producir ácidos grasos de cadena corta como: ácido acético, propiónico y butírico. Desafortunadamente también producen gases, los cuales han sido reportado como responsables de meteorismos y heces “sueltas” (Cummings *et al.*, 2001).

El tamaño de la cadena puede variar, siendo de importancia ya que de ésta depende la velocidad de fermentación, relación de ácidos grasos producidos y estimulación de crecimiento de bifidobacterias (Van de Wiele, 2007; Hernot *et al.*, 2009). Hernot *et al.* (2009) evaluaron *in vitro* la producción de gas, perfil de fermentación (utilizando como inóculo materia fecal humana) y modulación microbiana de fructooligosacáridos con diferentes largos de cadena. Se observó que cadenas cortas producían mayor cantidad de gas, un incremento mayor en poblaciones de bifidobacterias y eran fermentadas más rápidamente a ácidos grasos de cadena corta que las de grado de polimerización mayor (10 a 60).

Otras propiedades que se han sugerido para estos compuestos incluyen reducción de los niveles de colesterol y de la presión sanguínea (Yamasaki y Matsumoto, 1993).

2.5. Efecto del proceso térmico en compuestos bioactivos de frijol y avena

2.5.1. Proceso térmico de frijol

Existe amplia información del efecto de diferentes tipos de tratamiento térmico sobre fitoquímicos de frijol común (Rocha-Guzmán *et al.*, 2007; Jiratanan y Liu 2004; Turkmen *et al.*, 2005; Paredes-López *et al.*, 2006).

Comúnmente las semillas de esta leguminosa son cocinadas por ebullición. La cocción es probablemente el método más antiguo del procesamiento del frijol; su propósito principal es suavizar la semilla para hacerla comestible y desarrollar el sabor y aroma (Flores-Domínguez, 2002). Someter los alimentos a un proceso térmico no sólo mejora el sabor y palatabilidad, también elimina o reduce ciertos factores antinutricios. Además, inactiva inhibidores de proteasas (inhibidores de tripsina) y amilasas, lectinas, taninos, ácido fítico (Rocha-Guzmán *et al.*, 2007) y hemaglutininas (Xu y Chang, 2008).

Tanto, el remojo, ebullición o cocción a vapor del frijol afectan significativamente el contenido de fenoles totales y su capacidad antioxidante. Sin embargo el tratamiento con vapor causa menores pérdidas en compuestos fenólicos y actividad antioxidante que el método de ebullición (Xu y Chang, 2008). Sin embargo, ya en productos procesados esta capacidad depende del método de procesamiento de la semilla (Xu y Chang, 2007).

Por otra parte, el método de procesamiento de la semilla también es un factor importante en la variación de compuestos fenólicos presentes en frijol común. Para la semilla cruda, Cardador-Martínez *et al.* (2002b) reportaron un contenido de fenoles totales en el extracto metanólico de *P. vulgaris* cv. Flor de Mayo FM-38, en un intervalo de 56.31 a 57.04 mg eq. de (+)-catequina/g cascarilla utilizando un método de abrasión para separar la cáscarilla. Al cambiar el método de descascarillado a manual, el contenido se incrementó a 78.24 mg eq. de (+)-catequina/g cascarilla.

El tratamiento térmico influye de manera importante en la concentración de compuestos fenólicos. Aparicio-Fernández *et al.* (2005), reportó que hubo una disminución del 70% del contenido de taninos condensados en frijol negro, cultivar Jamapa (de 13.76 ± 1.2 mg eq. de (+)-catequina/g de grano entero crudo a 4.1 ± 0.4 mg/g grano entero cocido). Cabe destacar que en este estudio también se evaluó el cambio en estos compuestos durante el almacenamiento, encontrándose que los valores reportados para cosechas recientes variaba de 222.41 ± 16 a 35.8 ± 3.4 mg eq. de (+)-catequina/g cascarilla para un grano recién cosechado y con dos años de

almacenamiento respectivamente. La disminución de taninos condensados por tratamiento térmico también fue informada por Feregrino-Pérez *et al.* (2008), quienes observaron que en la variedad negro 8025, los taninos condensados disminuían con la cocción, reportando valores de 21.04, 15.15 y 9.11 mg eq. de (+)-catequina/g muestra para frijol crudo, cocido y un extracto de polisacáridos.

También se ha informado que el fenómeno de endurecimiento del grano, conocido como Hard-to-cook (HTC), debido a condiciones de alta temperatura y humedad relativa, afecta tanto el tiempo de cocción como la concentración de compuestos fenólicos. Machado *et al.* (2008), evaluó el tiempo de cocción de tres variedades de *P. vulgaris* (frijol negro cultivar T-39, rojo Lebaron y blanco Seahawk) almacenadas a diferentes condiciones: 21°C/50% humedad relativa como control y 30°C/65% humedad relativa por cinco meses para simular el fenómeno de endurecimiento. Se observó que el tiempo de cocción se incrementaba en cada una de las variedades HTC tres, cinco y seis veces al compararlas con sus respectivos controles. Adicionalmente, se encontró que hubo una pérdida del 40% de ácidos fenólicos libres en las semillas negras, sin embargo no se encontraron diferencias estadísticamente significativas para las variedades blancas.

Por otra parte, el cocimiento hace que la fibra soluble disminuya mientras que la fibra insoluble aumenta (Paredes-López *et al.*, 2006). Estos cambios en la fracción insoluble pueden deberse a la degradación de cierto porcentaje de almidón presente en los granos, causada por el tratamiento térmico (Acevedo *et al.*, 1994). El efecto del procesamiento de los alimentos en la estructura del almidón puede variar considerablemente, afectando la digestibilidad y el valor nutritivo de éste. Martín-Cabrejas *et al.* (2006) reportaron una disminución significativa de oligosacáridos, específicamente α -galactósidos que incluyen rafinosa, estaquiosa y verbascosa durante el proceso de remojo (si se desecha el agua de remojo), cocción y deshidratación de algunas legumbres.

Los tratamientos a los que se somete el frijol antes de su consumo, tales como remojo (cuando se elimina el agua de remojo) y cocción reducen substancialmente el contenido de antinutrientes incluyendo los oligosacáridos. Díaz-Batalla *et al.* (2006), observaron reducciones de 1.7-36.8% de rafinosa, 3.8-25.5% de estaquiosa y de 1.7-43.3% de verbascosa después de someter a cocción diferentes variedades (cultivadas y silvestres) de frijol común mexicano.

2.5.2. Proceso térmico de avena

La avena también sufre cambios en ciertos componentes cuando es sometida a procesamiento térmico o mecánico. Se ha reportado que la molienda reduce la cantidad de antioxidantes presentes en el grano entero (Decker *et al.*, 2002). Otros procesos como germinación, malteado o remojo puede aumentar el contenido de avenantramidas (un tipo de antioxidante) en los subproductos de avena (Bryngelsson *et al.*, 2003; Pihlava y Oksman-Caldentey, 2001).

La avena presenta dificultades para realizar la molienda en comparación con otros cereales como trigo, debido a que el germen es muy suave y a la distribución de lípidos en la semilla. Por tanto, la remoción de las capas exteriores y clasificación de partículas es complicada. Adicionalmente, al momento de romper la estructura del grano entran en acción lipasas y lipooxigenasas que conllevan a la liberación de ácidos grasos libres y formación de productos oxidados con sabores indeseables en el grano. Para facilitar o minimizar estos efectos se aplica un tratamiento hidrotérmico antes del procesado, lo cual también facilita el rolado y ayuda a la disminución de la carga bacteriana (Wood y Beer, 1998).

Bryngelsson *et al.* (2002), evaluaron el efecto del tratamiento térmico utilizado para el rolado de avena por medio de vapor y autoclave, observando una disminución con el primer método en α -tocotrienoles y ácido cafeico, mientras que con autoclave hubo un aumento de α -tocoferoles y α -tocotrienoles.

Otro factor importante en el procesamiento de la avena es el grado de gelatinización del almidón, tamaño de partícula e integridad de las paredes celulares del cereal. El grosor y resistencia mecánica de las paredes celulares del grano constituyen una barrera física, la cual previene el completo hinchamiento de los gránulos de almidón durante el proceso de gelatinización, restringiendo su interacción con las enzimas digestivas (Tovar *et al.*, 1991). De esta manera, se ha reportado que el cereal intacto sometido a un proceso térmico, disminuye niveles de glucosa postprandial y la respuesta insulinémica (Jenkins *et al.*, 1988; Granfeldt *et al.*, 1995). Sin embargo, cuando se usan harinas de estos mismos productos, esta disminución no es observada. Lo anterior puede deberse a que la resistencia que presenta el almidón a la hidrólisis pancreática depende de la presencia de paredes celulares intactas que sobrevivan el procesamiento y tratamiento térmico (Alminger y Eklund, 2008).

Los β -glucanos son compuestos bioactivos presentes en avena que tienen un efecto benéfico en la prevención de la diabetes tipo II y disminución del riesgo de enfermedades del corazón y esto se ha atribuido principalmente al incremento de viscosidad intestinal. Sin embargo, esta propiedad disminuye conforme incrementa la temperatura (Sadiq-Butt *et al.*, 2008). También el peso molecular y la concentración de β -glucanos tienen gran influencia en la viscosidad y en su comportamiento reológico en el tracto intestinal. Se ha informado que el peso molecular de los β -glucanos es menor en subproductos de avena que en el cereal intacto (Kerckhoffs *et al.*, 2003; Aman *et al.*, 2004). La materia prima, la actividad de β -glucanasas endógenas, el procesamiento y almacenamiento de la avena son condiciones que afectan la cantidad, solubilidad, peso molecular y estructura de los β -glucanos (Degutyte-Fomins *et al.*, 2002).

Debido a la diversidad de cambios que sufren los compuestos bioactivos tanto de frijol como de avena, se debe tomar en cuenta en el momento de formular un nuevo producto, para mantener los atributos esperados en los productos finales.

III. JUSTIFICACIÓN

A pesar de que el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) ocupa un lugar importante en la dieta de la población mexicana por su alto contenido de proteína y recientemente por compuestos bioactivos benéficos para la salud, en los últimos años ha disminuido su consumo y esto se ha atribuido a que se han experimentado transformaciones en los hábitos alimenticios a raíz de la creciente urbanización, la apertura comercial y de la conveniencia de ahorro de tiempo al cocinar. Se ha informado que el consumo *per cápita* anual de frijol común disminuyó de 18.9 a 11 kg de 1990 a 2005 (ASERCA, 2006), aún cuando para el 2006 se tuvo un ligero aumento en México a 15 kg (SIAP, 2006).

Los hábitos alimentarios han ido cambiando por otros factores: integración de la mujer al mercado de trabajo, ritmo de vida más acelerado, mayor oferta de productos novedosos en el mercado. Lo cual ha traído como consecuencia la preferencia de alimentos rápidos, balanceados nutricionalmente y con facilidad de transporte. Las barras nutritivas son productos que cumplen con las características anteriores.

La avena (*Avena sativa* L.) ha sido utilizada ampliamente en este tipo de alimentos debido a sus propiedades funcionales. Al carecer de gluten, no se puede utilizar en elaboración de pan, por lo que es ideal para productos compactos como lo es una barra. Por otro lado, su perfil proteico es superior a otros cereales como trigo y maíz. Además, los cereales por lo general son deficientes en lisina, pero éstos se encuentran en buena proporción en el frijol común que a su vez es deficiente en aminoácidos azufrados presentes en avena. Desde el punto de vista nutricional se obtiene una proteína de buena calidad.

Tomando en cuenta los factores mencionados con anterioridad, se propone la elaboración de un alimento nutracéutico que cumpla con las expectativas del mercado, teniendo como premisa ser un medio para incrementar el consumo de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), por tanto, se plantea el siguiente objetivo general.

IV. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Elaborar y evaluar el valor nutrimental, potencial nutracéutico y atributos sensoriales de una barra horneada de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y avena (*Avena sativa*).

4.2. Objetivos específicos

4.2.1. Establecer el concepto del producto mediante técnicas de exploración de mercado, identificando las características clave percibidas por el consumidor.

4.2.2. Diseñar formulaciones preliminares para el desarrollo de una barra horneada de frijol y avena, y evaluar los parámetros tecnológicos para su fabricación.

4.2.3. Elaborar y evaluar sensorialmente las barras de frijol y avena utilizando las variedades de frijol Negro 8025 y Bayo Madero, seleccionando las formulaciones con la mayor preferencia.

4.2.4. Realizar el análisis proximal, determinación de fibra dietética, cuantificación de oligosacáridos y almidón resistente de las harinas de frijol y avena y de las barras obtenidas.

4.2.5. Estudiar el potencial nutracéutico de las harinas de frijol, harina de avena y las barras de frijol-avena.

4.2.4.1. Cuantificar taninos condensados y flavonoides totales.

4.2.4.2. Determinar capacidad antioxidante

4.2.6. Realizar estudios de estabilidad durante el almacenamiento y de textura de las barras de frijol-avena.

4.2.7. Evaluar sensorialmente las diferentes formulaciones de las barras.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Materiales

5.1.1. Materiales biológicos

Las variedades de frijol común (*P. vulgaris*), Negro 8025 y Bayo Madero que se utilizaron para la elaboración de las barras fueron donadas por el Dr. Jorge A. Acosta Gallegos del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), campo experimental del Bajío.

La avena (*A. sativa*) a fue de una marca comercial en su presentación en hojuelas.

5.1.2. Materiales para elaboración de las barras

Los ingredientes para la formulación de las barras fueron obtenidos de comercializadoras de materias primas locales.

5.1.3. Reactivos

La α -amilasa, proteasa, amiloglucosidasa, vainillina, rutina, (+)-catequina, dimetil sulfóxido, rojo de metilo, estándares de rafinosa y estaquiosa, así como el kit de glucosa fueron de la marca Sigma Chemical Co., (USA). La enzima liquenasa fue de la marca Megazyme.

El sulfato de sodio y calcio, hidróxido de sodio y potasio, ácido bórico, verde de bromocresol, hexano, fosfato de sodio y potasio, etanol, ácido clorhídrico, sales para la construcción de la isoterma de sorción y metanol pertenecen a la marca J.T. Baker. De igual manera, la rutina, DPPH y trolox fueron de Aldrich Chemicals.

5.2. Métodos

5.2.1. Estrategia experimental

La presente investigación se llevó a cabo de acuerdo a la siguiente estrategia:

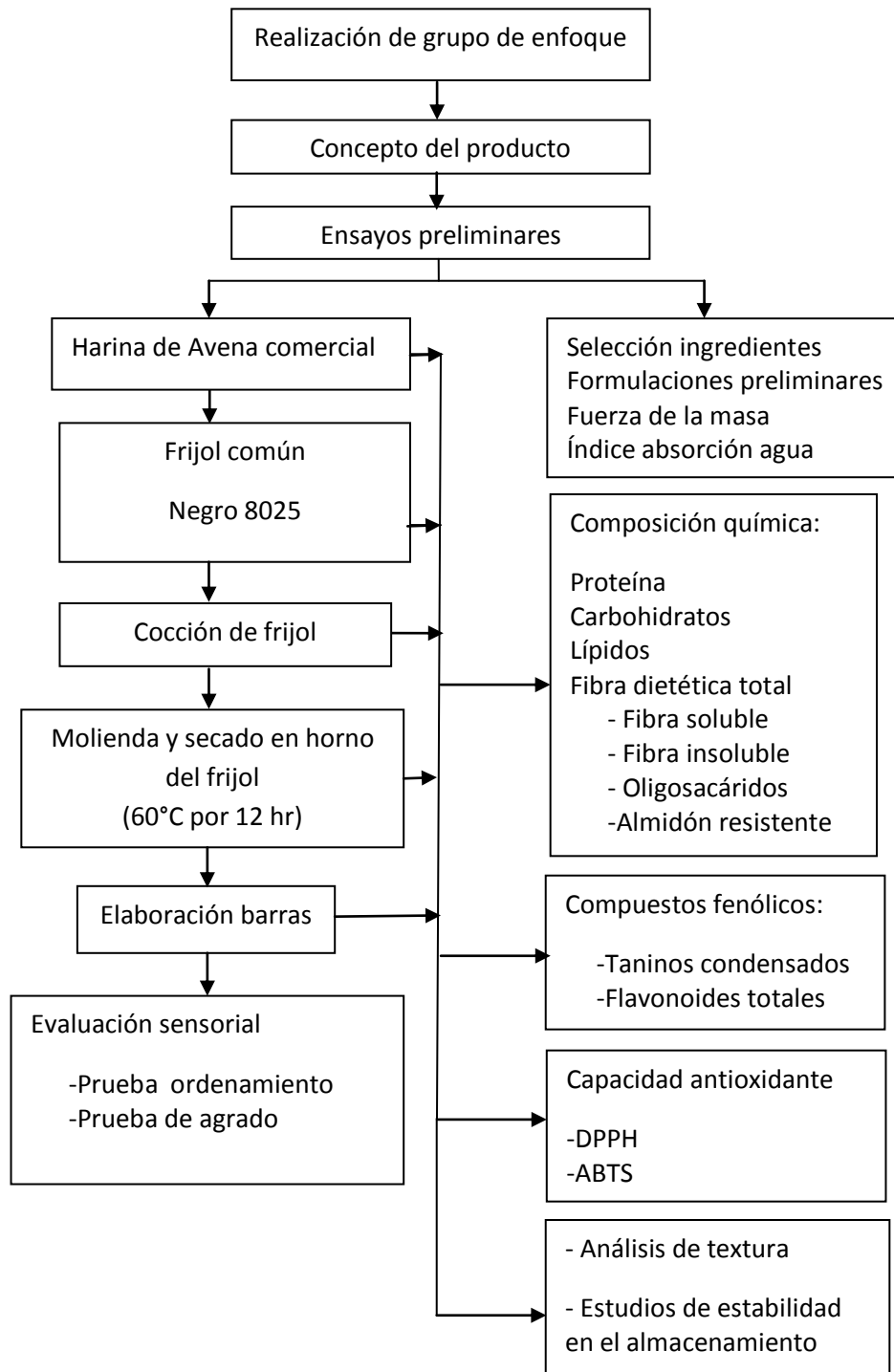


Figura 6. Estrategia experimental

5.2.2. Proceso de elaboración de la barra

5.2.2.1. Preparación de las materias primas

5.2.2.1.1. Cocción de frijol

Las dos variedades en estudio de frijol común se cocieron de acuerdo a la metodología descrita por Aparicio-Fernández *et al.* (2005). Brevemente, se pesaron 500 g de muestra y se agregaron 2.5 L de agua destilada. La cocción se llevó a cabo por 2.5 hrs a $90\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1$ en un plato caliente marca Corning. Una vez terminado el tratamiento, se tomaron 500 g de frijol incluyendo el agua de cocción, se dejaron enfriar a temperatura ambiente para después congelarse a $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 24hr . Posteriormente se liofilizaron 150g, molieron y tamizaron (malla 40) y se almacenaron en tubos de polipropileno marca Corning a 4°C para análisis posteriores. El resto se trató como se indica a continuación.

5.2.2.1.2. Secado por horno

El frijol cocido se secó en un horno de convección marca Felisa para evaporar el agua. La muestra (500 g incluyendo el agua de cocción) se transfirió a charolas de aluminio procurando tener un espesor de 1cm y se secó a $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 12 hr. Una vez transcurrido este tiempo, la muestra se molió, tamizó usando una malla 40 y se almacenó en refrigeración a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ protegida de la luz hasta su uso.

5.2.2.1.3. Mucílago de linaza

La linaza usada se obtuvo en el comercio local. La extracción se llevó a cabo bajo las condiciones óptimas descritas por Hall *et al.*, 2006. Se partió de una muestra de 50 g de linaza entera y 650 ml de agua destilada. Ésta se sometió a cocción a 94°C por 1.5 horas, con agitación constante, después de lo cual se dejó enfriar a temperatura ambiente. La solución resultante se filtró y se descartó el residuo. El filtrado se almacenó en congelación hasta su uso posterior.

5.2.2.2. Elaboración de las barras de frijol-avena

Se seleccionaron las variedades de frijol común (*P. vulgaris*) Negro 8025 y Bayo Madero, debido a que tienen mayor concentración de al menos un compuesto bioactivo (polifenoles y/o fibra dietética). Se elaboró una formulación control en la cual sólo se incluyó harina de avena y trigo como ingredientes principales. A partir de esta formulación base, por medio de un diseño estadístico en mezclas más factores de proceso, se obtuvieron las formulaciones a probar con diferente porcentaje de inclusión de frijol. Los ingredientes para la formulación de la barra se obtuvieron a partir de un estudio comparativo de las etiquetas de barras que se comercializan en México. De esta manera, se eligieron los materiales que se repetían con mayor frecuencia. Con el fin de tener un enfoque más saludable, se sustituyeron algunos de los ingredientes artificiales que se utilizan en la industria alimentaria. La formulación base que se propuso se muestra a continuación en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Formulación base de barras de frijol (*P. vulgaris*) y avena (*A. sativa*)

| Ingrediente | Porcentaje de inclusión |
|-----------------------|-------------------------|
| Harina de frijol | 00.0% |
| Harina de avena | 43.0% |
| Harina de trigo | 14.5% |
| Agua | 22.0% |
| Lecitina de soya | 5.0% |
| Espicias ^a | 4.0% |
| Aceite vegetal | 3.5% |
| Melaza | 3.4% |
| Mucílago de linaza | 3.0% |
| Hojuelas de avena | 1.0% |
| Sal | 0.5% |
| Total | 100% |

^a Se preparó una mezcla en polvo de cebolla, ajo, cilantro y orégano deshidratados en la misma proporción.

En la Figura 6 se muestra el proceso de elaboración de las barras, el cual siguió la línea de flujo diseñada por Escobar *et al.* (1992) con algunas modificaciones para adaptarlo a la presente investigación. Los ingredientes fueron mezclados hasta obtener una masa ligada, se comprimieron mecánicamente y se cortaron en unidades de 7 cm de largo por 4 cm de ancho y 0.4 cm de espesor. Posteriormente se hornearon a 120 °C por 30 min. El peso aproximado de cada barra fue de 16 g.

Diagrama de flujo de elaboración de las barras de frijol-avena

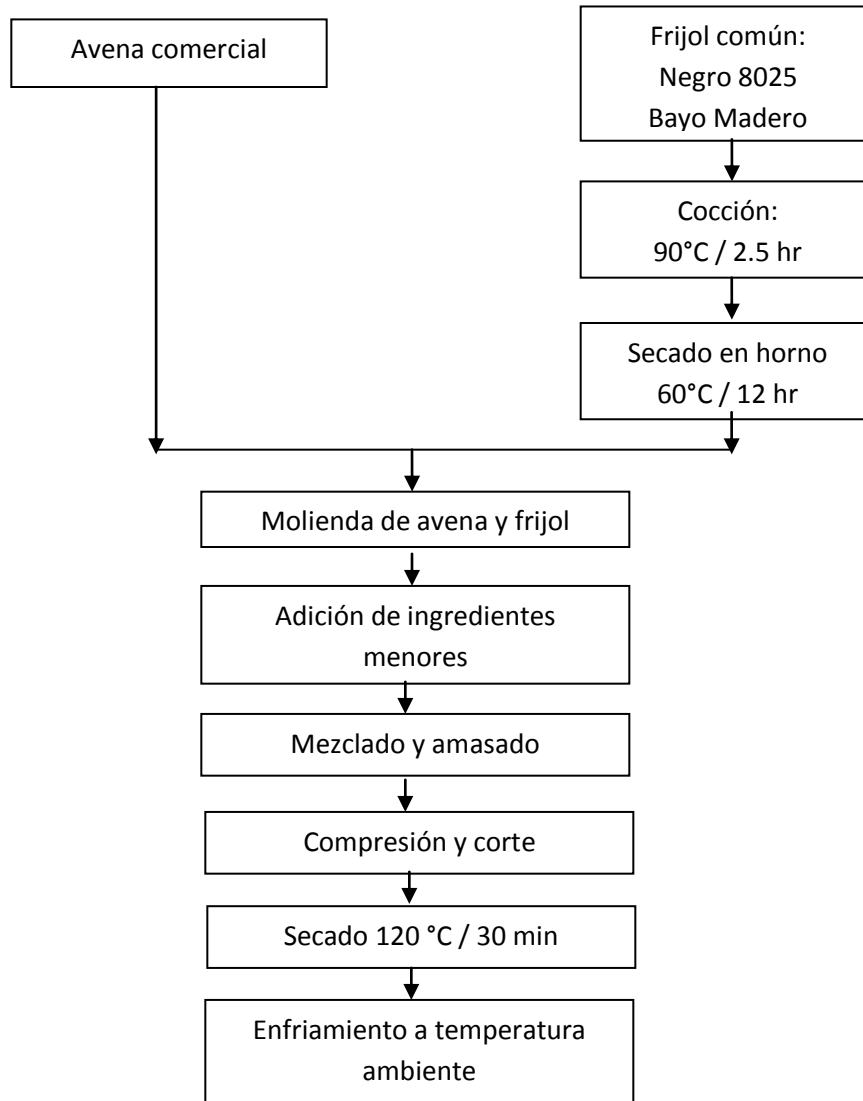


Figura 7. Diagrama de flujo para la elaboración de barras de avena y frijol

5.2.3. Análisis proximal

Se realizó el análisis proximal para las harinas de frijol, harina de avena y las barras por la metodología descrita en el AOAC (2002). La determinación de carbohidratos totales se hizo por diferencia de peso.

5.2.3.1. Determinación de grasa

Se realizó por medio del método AOAC (2002), técnica 920.39 grasa cruda o extracto etéreo. Brevemente, se pesaron 2 g de muestra en un cartucho para Soxhlet y se puso un tapón de algodón. En el cartucho se colocó en el Soxhlet y en la parte inferior un matraz de fondo plano puesto previamente a peso constante. Se añadieron aproximadamente 180 ml de éter etílico al matraz. La extracción se realizó por 5 hr con un flujo de 2 gotas por segundo. Una vez recuperado el exceso de éter, se colocó el matraz bola en la estufa hasta peso constante y se registró el peso.

Cálculos:

Extracto etéreo (%)= $(B - A) \times 100 / P.M.$

Donde:

B= matraz bola con la grasa

A= matraz bola a peso constante

P.M.= peso de la muestra

5.2.3.2. Determinación de proteína

La proteína total se determinó utilizando el método 920.105 (Kjeldhal), descrito por la AOAC (2002). Se colocaron 0.5 g de muestra en un matraz de digestión Kjeldhal. Se agregó una pastilla de catalizador de sulfato de sodio y de sulfato de cobre más 10 ml de ácido sulfúrico. Se colocó en el digestor durante aproximadamente una hora, hasta que el contenido tome un color verde claro, se dejó enfriar y se colocó el tubo en el destilador, donde se adicionó agua destilada e hidróxido de sodio al 40%. El destilado se recibió en un matraz que contenía 25 ml de ácido bórico y como indicador rojo de metilo y verde de bromocresol. Posteriormente, se tituló con ácido clorhídrico 0.08 N. Se determinó el nitrógeno total (N) multiplicado por un factor de conversión equivalente al % de proteína presente en el alimento.

Cálculos:

Nitrógeno (%): $(A-B) \times C \times D \times 100$

Proteína (%)= nitrógeno (%) x 6.25

Donde:

A= ml de solución gastados en la muestra problema

B= ml de solución gastados del blanco

C= meq N₂ 0.014

D= Normalidad del ácido

M= Peso de la muestra

5.2.3.3. Determinación de humedad

Se determinó por la técnica 925.23 del AOAC (2002). Se pesaron 2 g de muestra en una cápsula colocada previamente a peso constante. Posteriormente se llevó a la estufa a 130°C por 2 hrs, después de lo cual se colocó en un desecador hasta temperatura ambiente y se pesó.

El porcentaje de humedad se calculó de la siguiente manera:

Humedad (%) = $(W_2 - W_1) \times 100 / W$ muestra

Donde:

W_2 = Peso de la cápsula + muestra

W_1 = Peso de la cápsula + muestra (después del secado)

5.2.3.4. Determinación de cenizas

Siguiendo la metodología descrita por AOAC (2002), técnica 945.46, se pesaron 2 g de muestra en un crisol de porcelana previamente llevado a peso constante. La muestra se calcinó durante 5 hrs en una mufla a 550-560°C. Después de llevar a temperatura ambiente en un desecador, el crisol se pesó junto con la muestra.

Los cálculos se realizaron como sigue:

Cenizas (%) = $[(W_1 + M_1) - (M_2 - W_1)] \times 100$

Donde:

W_1 = Peso del crisol

M_1 = Peso de la muestra

M_2 = Peso de la muestra calcinada

5.2.3.5. Determinación de carbohidratos

Se realizó el análisis bromatológico de las harinas crudas y de las barras, con lo cual se obtuvo el porcentaje de grasa, proteína, humedad y cenizas de las muestras. La suma de los porcentajes de estos análisis se le restó al 100%. La diferencia obtenida corresponde a los carbohidratos totales.

$$\text{Carbohidratos totales (\%)} = 100 - (G + P + H + C)$$

Donde:

G = % de proteína de la muestra

P = % de grasa de la muestra

H = % de humedad de la muestra

C = % de cenizas de la muestra

5.2.3.6. Determinación de fibra insoluble

La extracción de la fracción insoluble se llevó a cabo por el método de Shiga *et al.* (2003), en donde por cada gramo de frijol pulverizado y liofilizado se adicionaron 50 ml de buffer de fosfato 0.08 mM a pH 6, el pH se ajustó con NaOH 0.275N. Enseguida se adicionaron 100 μ l de α -amilasa (0.1 ml). El frasco tapado y protegido de la luz se incuó en baño María a 95 °C por 30 min, agitando cada 5 min., después se atemperó y ajustó el pH a 7.5 con NaOH 0.275N.

Posteriormente se adicionaron 100 μ l de proteasa (5 mg/ml) y se incubó en baño María a 60 °C por 30 min con agitación continua, la muestra se atemperó y se ajustó el pH a 4-4.6 con HCl 0.375N. Se adicionaron 300 μ l de amilogucosidasa y se volvió a incubar en baño María por 30 minutos a 60 °C con agitación continua. Al término de la incubación, la muestra se filtró con papel Whatman No. 4 realizando dos lavados con agua a 60 °C (10ml por lavado), dos con 10 ml de etanol al 80% y finalmente otros 2 con 10 ml de acetona. El filtro se llevó a peso constante a 60°C por 24, después de lo cual se atemperó en desecador y se pesó. La fibra insoluble es lo que queda en el filtro.

$$\text{Fibra insoluble (\%)} = \frac{[(\text{Peso filtro} + \text{muestra}) - (\text{peso filtro})]}{\text{peso de muestra}} \times 100$$

5.2.3.8. Determinación de fibra soluble

Al residuo del filtrado del análisis de fibra insoluble, se le adicionó un volumen igual y se dejó reposar en refrigeración (4 °C) por 48 hrs. Pasado este lapso de tiempo, se filtró en papel filtro Whatman No. 42, haciendo dos lavados con 10 ml de etanol al 80% y otros dos con 10 ml de acetona. El filtro se dejó secar por 24 hrs en estufa a 60 °C, después de lo cual se atemperó en desecador y se registró el peso. El cálculo de la fibra soluble se realizó de la siguiente manera:

$$\text{Fibra soluble (\%)} = [(\text{Peso filtro} + \text{muestra}) - (\text{peso filtro}) / \text{peso de muestra}] \times 100$$

5.2.4. Cuantificación de almidón resistente

Se realizó mediante la metodología descrita por Saura-Calixto *et al.* (1993) y Shiga *et al.* (2003). Partiendo de la fracción insoluble de la fibra dietética que se extrajo de las muestras, se raspó el residuo del filtro hasta obtener 100 mg. Posteriormente se adicionaron 6 ml de KOH 2 M y se mantuvo en agitación continua por 30 min. a temperatura ambiente. Se agregaron 3 ml de buffer de acetato de sodio (0.4 M, pH 4.73) y se ajustó a pH 4.75 con HCl 2N. Enseguida se adicionaron 60 µl de amiloglucosidasa, se mezcló e incubó a 60 °C por 30 min. con agitación continua y se centrifugó a 3000 g en una centrífuga Hermle Z 323 K (Hermle Labortechnik, Alemania) por 15 min. El residuo obtenido se resuspendió en 10 ml de agua destilada y se centrifugó nuevamente. La solución se filtró en papel filtro Whatman No. 4 y se llevó a peso constante en estufa a 60 °C por 24 hrs. Pasado este tiempo, el filtro se atemperó y se pesó. El porcentaje de almidón resistente se calculó con la siguiente fórmula:

$$\text{Almidón resistente (\%)} = [(\text{Peso filtro} + \text{muestra}) - (\text{peso filtro}) / \text{peso de muestra}] \times 100$$

5.2.5. Cuantificación de oligosacáridos

La extracción de oligosacáridos se realizó por la técnica descrita por Díaz-Batalla *et al.* (2006) y la identificación por el método de Muzquiz *et al.* (1999). Brevemente, se pesaron 0.5 g de muestra y se adicionará 10 ml de agua destilada. Se dejó en baño maría a 80 °C por 1 hr con agitación cada 5 minutos y se dejó enfriar a temperatura ambiente. Posteriormente se tomó del sobrenadante con una jeringa con filtro y se inyectó en viales para HPLC. Se colocaron los viales en el HPLC para su análisis con un volumen de inyección de 20 µl una velocidad de flujo de 1ml/min.

La fase móvil fue una mezcla en proporción 50:50 de acetonitrilo-agua y la estacionaria una columna SORBAX 4.6 x 250 mm y 5 micras de tamaño de partícula.

Se utilizaron tres estándares de oligosacáridos: estaquiosa, verbascosa y rafinosa para realizar las curvas de calibración. El resultado de la concentración de cada uno se expresará en mg/gr de muestra.

5.2.6. Cuantificación de compuestos fenólicos.

La cuantificación se llevó a cabo tanto en harinas de frijol y avena, así como en las barras de frijol-avena.

5.2.6.1. Extracto metanólico

Para obtener el extracto metanólico de acuerdo al método descrito por Cardador-Martínez *et al.* (2002), se colocó 1 g de muestra en un matraz y se adicionaron 10 ml de metanol. Se cubrieron los frascos con papel aluminio y se dejó agitando durante 24 hr. a 25°C. El extracto se transfirió a tubos Corning de 50 ml y se centrifugó a 5000 rpm por 10 min a 4°C. Por último se tomó del sobrenadante 50 µl para análisis.

5.2.6.2. Cuantificación de taninos condensados

Se utilizó la metodología descrita por Deshpande y Cheryan (1985,1987) con las modificaciones sugeridas por Feregrino-Pérez *et al.* (2008) para su adaptación en microplaca. Se colocaron 50 µl del extracto metanólico en los pozos de la microplaca y se adicionaron 200 µl de reactivo de vainillina 1% - HCl 8% (1:1). Las muestras se analizaron por triplicado a una absorbancia de 540 nm en un MULTISKAN (Thermo Electron Corporation, Multiskan Ascent^R, Model 51118307). Las lecturas se compararon contra una curva estándar de (+)-catequina con un intervalo de 0-1 mg/ml del estándar de referencia. Los resultados se expresaron como mg equivalentes de (+)-catequina/gr muestra.

5.2.6.3. Cuantificación de flavonoides totales

De acuerdo al método de Oomah *et al.* (2005), se colocaron 50 μ l del extracto metanólico en la microplaca y se adicionaron 180 μ l de agua destilada, seguido de 20 μ l de solución de 2-aminoetildifenilborato al 1% en metanol. Las muestras se analizaron a una absorbancia de 404 nm en MULTISKAN (Thermo Electron Corporation, Multiskan Ascent^R, Model 51118307). Los resultados, comparados contra una curva estándar de rutina con un intervalo de 0 a 50 μ l/ml, se expresaron como mg equivalentes de rutina por gramo de muestra.

5.2.7. Capacidad antioxidante

5.2.7.1. Determinación de capacidad antioxidante por el método ABTS.

El ensayo se llevó a cabo siguiendo la metodología propuesta por Nenadis *et al.* (2004) con algunas modificaciones. Brevemente, en una placa de 96 pozos se añadieron 0.02 ml de extracto metanólico (expresado como 100 μ M equivalentes de (+)-catequina) y se agregaron 230 μ M de la solución preparada de ABTS (5 ml de una solución acuosa de ABTS 7mM y 88 μ l de una solución de persulfato de Sodio ($K_2S_2O_8$) a 140 mM para obtener una concentración final de 2.45 mM, después de almacenarla en oscuridad durante 16 hrs, la solución que contenía el radical fue diluida en etanol hasta que el valor inicial de absorbancia alcanzado fue de 0.7 ± 0.5 a una λ de 734 nm). Tanto el extracto metanólico como los estándares fueron preparados por triplicado. La placa se leyó al tiempo 0, 10, 30, 60, 90 y 120 min a 520 nm en un espectrofotómetro (Spectramax plus 384, Molecular Devices Corp., Sunnyvale, CA). La placa se mantuvo cubierta y en la oscuridad a temperatura ambiente entre lecturas. La capacidad antioxidante se expresó como μ g equivalentes de Trolox (TEAC).

5.2.7.2. Determinación de capacidad antioxidante por el método DPPH.

Se utilizó el método original de Brand-Williams *et al.* (1995) modificado por Fukumoto y Mazza (2000) adaptado para su uso en microplaca. Brevemente, en una placa de 96 pozos se añadieron 0.02 ml de extracto metanólico (expresado como 100 μ M equivalentes de (+)-catequina) y 0.2 ml de solución de DPPH (150 μ M). Tanto el extracto metanólico como los estándares fueron preparados por triplicado. La placa se leyó al tiempo 0, 10, 30, 60, 90 y 120 min

a 520 nm en un espectrofotómetro (Spectramax plus 384, Molecular Devices Corp., Sunnyvale, CA). La placa se mantuvo cubierta y en la oscuridad a temperatura ambiente entre lecturas. La actividad antirradical (ARA) se calculó como porcentaje de inhibición de DPPH, usando la siguiente ecuación (Burda & Oleszek, 2001):

$$ARA = 100 \times (1 - A_{\text{muestra}} / A_{\text{control}})$$

Donde:

A_{muestra} = la absorbancia de la muestra a 520 nm

A_{control} = la absorbancia del control (ausencia de antioxidante)

5.2.8. Evaluación sensorial

5.2.8.1. Grupos de enfoque

Se realizaron dos sesiones con grupos de enfoque para conocer las características, atributos y el concepto que los consumidores tienen sobre el producto a elaborar. A partir de esta información se diseñaron los productos evaluados. Cada grupo estuvo conformado por 7 a 8 participantes.

Esta metodología consiste en el cuestionamiento y discusión de ciertos puntos de interés acerca de un producto con consumidores potenciales. Dichos consumidores, fueron seleccionados mediante encuestas previas para asegurar que cumplen con el perfil necesario: que estuvieran en el intervalo de edad de 18 a 35 años, consumieran botanas saladas con una frecuencia de al menos una vez por semana y que tuvieran disponibilidad para asistir a las sesiones. El formato de encuesta que se empleó se muestra en la Figura 5.

La duración de cada sesión de grupo de enfoque fue de una hora aproximadamente en donde se discutieron los puntos contenidos en la guía que se muestra en el apartado VII como anexo I. Posteriormente, se analizaron los resultados y se obtuvo el concepto del producto que busca el consumidor.

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. Agradecería 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) _____

Garbanza _____

Barras (All-Bran, Kellog's) _____

Semillas (pepitas) _____

Papas _____

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

Diariamente _____
semana _____

1-2 veces por semana _____

menos de 1 vez por

3.- ¿Participaría en una sesión posterior para profundizar sobre estos productos?

Sí _____

No _____

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

Figura 8. Formato de encuesta de selección de asistentes a grupo de enfoque

5.2.8.2. Prueba de ordenamiento

Una vez obtenidas las diferentes formulaciones de las barras, se llevaron a cabo pruebas con consumidores en las cuales se evaluó la preferencia de cada una de ellas.

En esta prueba, conocida también como prueba de preferencia, 18 jueces semientrenados evaluaron a lo largo de 5 sesiones 54 formulaciones diferentes. Las primeras 27 formulaciones se elaboraron en la variedad Negro 8024, las restantes con harina de frijol Bayo Madero.

Cada panelista evaluó 6 barras por día, que corresponde al número máximo de unidades que un juez puede evaluar para percibir las diferencias entre ellas. A causa de esta restricción, fue imposible que cada juez probara todas las muestras aún a lo largo de todas las sesiones, razón por la que se elaboró un diseño de bloques incompletos balanceados (BIB) para llevar a cabo la prueba. El diseño BIB utilizado en la primera sesión se muestra en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Diseño de bloques incompletos balanceados para la prueba de ordenamiento

| Juez | Muestra 1 | Muestra 2 | Muestra 3 | Muestra 4 | Muestra 5 | Muestra 6 |
|-------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 1 | L13 | L36 | L23 | L52 | L35 | L12 |
| 2 | L44 | L25 | L32 | L41 | L42 | L31 |
| 3 | L48 | L3 | L26 | L28 | L10 | L37 |
| 4 | L9 | L1 | L39 | L7 | L41 | L34 |
| 5 | L44 | L50 | L2 | L6 | L12 | L26 |
| 6 | L51 | L35 | L30 | L29 | L37 | L16 |
| 7 | L52 | L27 | L4 | L34 | L17 | L47 |
| 8 | L33 | L18 | L24 | L14 | L50 | L54 |
| 9 | L10 | L5 | L49 | L17 | L16 | L31 |
| 10 | L29 | L24 | L7 | L42 | L21 | L28 |
| 11 | L27 | L2 | L15 | L11 | L22 | L25 |
| 12 | L30 | L9 | L20 | L46 | L43 | L22 |
| 13 | L13 | L21 | L53 | L4 | L20 | L18 |
| 14 | L46 | L19 | L48 | L36 | L47 | L14 |
| 15 | L32 | L43 | L11 | L54 | L38 | L5 |
| 16 | L40 | L15 | L51 | L19 | L6 | L45 |
| 17 | L8 | L39 | L49 | L40 | L33 | L23 |
| 18 | L3 | L45 | L8 | L1 | L53 | L38 |

Este diseño se repitió en las sesiones restantes variando sólo las muestras asignadas a cada juez, cuidando de no dar la misma muestra más de una vez. El formato de evaluación que se proporcionó se muestra en la Figura 6.

Evaluación Sensorial – Prueba de Ordenamiento

Sesión 1

Instrucciones: Deguste las muestras dadas a continuación estrictamente en el orden que se presentan iniciando con la muestra colocada arriba. A continuación, ordene del 1 al 6 de acuerdo a su preferencia, en donde “1” representará la muestra de mayor preferencia y “6” la de menor preferencia.

Después de evaluar cada muestra, enjuague con agua y proceda a evaluar la siguiente.

| Muestra | Puntuación |
|---------|------------|
| L37 | |
| L29 | |
| L30 | |
| L35 | |
| L51 | |
| L16 | |

Escriba las razones por las que eligió la muestra de mayor preferencia:

Otros comentarios:

Figura 9. Formato de prueba de ordenamiento

5.2.8.3. Prueba de agrado

A las barras con mayor preferencia se les realizó también una evaluación hedónica o prueba de agrado. Se pidió a los panelistas que evaluaran el grado de satisfacción general que le produjo cada muestra. Para esta evaluación se utilizó la escala hedónica de 9 puntos propuesta por Peryam y Girardot (1952), en donde los extremos representan el agrado extremo o desagrado extremo pasando por un punto neutral.

Para complementar la prueba, se utilizó una escala denominada “justo en lo correcto” también conocida como JAR. La escala JAR está formada por cinco niveles; el nivel central describe las características ideales que busca el consumidor en un producto.

En esta evaluación participaron un total de 86 jueces no entrenados elegidos al azar. La unidad experimental fue una barra de frijol-avena de 5 g aproximadamente. Adicionalmente se usó un control que consistió en una barra elaborada sin frijol y una galleta comercial de verduras. El formato que se proporcionó a los panelistas se muestra en la Figura 7.

EVALUACIÓN DE BARRAS DE FRIJOL Y AVENA

Instrucciones: Evalúe las muestras dadas a continuación estrictamente en el orden de presentación. Después de degustar cada muestra enjuague la boca con agua y proceda a probar la siguiente.

- a) Considerando todas las características de cada producto (apariencia, sabor, textura) indique su opinión de acuerdo a la escala descrita, marcando con una "X" la casilla correspondiente.

Escala hedónica:

- | | |
|------------------------------|--------------------------------|
| 1- Me agrada extremadamente | 6- Me desagrada ligeramente |
| 2- Me agrada mucho | 7- Me desagrada moderadamente |
| 3- Me agrada moderadamente | 8- Me desagrada mucho |
| 4- Me agrada ligeramente | 9- Me desagrada extremadamente |
| 5- No me agrada ni desagrada | |

Producto

Nivel de agrado

| | | | | | | | | | |
|------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 128 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 340 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 435 | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |

- b) Marque en la casilla correspondiente la opción que mejor describa la intensidad del atributo mencionado para cada producto.

TEXTURA (DUREZA)

| | |
|---|---|
| 128 | 340 |
| <input type="checkbox"/> Mucho menos de lo que me gusta | <input type="checkbox"/> Mucho menos de lo que me gusta |
| <input type="checkbox"/> Menos de lo que me gusta | <input type="checkbox"/> Menos de lo que me gusta |
| <input type="checkbox"/> Justo lo que me gusta | <input type="checkbox"/> Justo lo que me gusta |
| <input type="checkbox"/> Más de lo que me gusta | <input type="checkbox"/> Más de lo que me gusta |
| <input type="checkbox"/> Mucho más de lo que me gusta | <input type="checkbox"/> Mucho más de lo que me gusta |
| 435 | |
| <input type="checkbox"/> Mucho menos de lo que me gusta | |
| <input type="checkbox"/> Menos de lo que me gusta | |
| <input type="checkbox"/> Justo lo que me gusta | |
| <input type="checkbox"/> Más de lo que me gusta | |
| <input type="checkbox"/> Mucho más de lo que me gusta | |

TEXTURA (CRUJIBILIDAD)

| | |
|---|---|
| 128 | 340 |
| <input type="checkbox"/> Mucho menos de lo que me gusta | <input type="checkbox"/> Mucho menos de lo que me gusta |
| <input type="checkbox"/> Menos de lo que me gusta | <input type="checkbox"/> Menos de lo que me gusta |
| <input type="checkbox"/> Justo lo que me gusta | <input type="checkbox"/> Justo lo que me gusta |
| <input type="checkbox"/> Más de lo que me gusta | <input type="checkbox"/> Más de lo que me gusta |
| <input type="checkbox"/> Mucho más de lo que me gusta | <input type="checkbox"/> Mucho más de lo que me gusta |
| 435 | |
| <input type="checkbox"/> Mucho menos de lo que me gusta | |
| <input type="checkbox"/> Menos de lo que me gusta | |
| <input type="checkbox"/> Justo lo que me gusta | |
| <input type="checkbox"/> Más de lo que me gusta | |
| <input type="checkbox"/> Mucho más de lo que me gusta | |

CONTENIDO DE SAL

| | |
|---|---|
| 128 | 340 |
| <input type="checkbox"/> Mucho menos de lo que me gusta | <input type="checkbox"/> Mucho menos de lo que me gusta |
| <input type="checkbox"/> Menos de lo que me gusta | <input type="checkbox"/> Menos de lo que me gusta |
| <input type="checkbox"/> Justo lo que me gusta | <input type="checkbox"/> Justo lo que me gusta |
| <input type="checkbox"/> Más de lo que me gusta | <input type="checkbox"/> Más de lo que me gusta |
| <input type="checkbox"/> Mucho más de lo que me gusta | <input type="checkbox"/> Mucho más de lo que me gusta |
| 435 | |
| <input type="checkbox"/> Mucho menos de lo que me gusta | |
| <input type="checkbox"/> Menos de lo que me gusta | |
| <input type="checkbox"/> Justo lo que me gusta | |
| <input type="checkbox"/> Más de lo que me gusta | |
| <input type="checkbox"/> Mucho más de lo que me gusta | |

CONDIMENTO

| | |
|---|---|
| 128 | 340 |
| <input type="checkbox"/> Mucho menos de lo que me gusta | <input type="checkbox"/> Mucho menos de lo que me gusta |
| <input type="checkbox"/> Menos de lo que me gusta | <input type="checkbox"/> Menos de lo que me gusta |
| <input type="checkbox"/> Justo lo que me gusta | <input type="checkbox"/> Justo lo que me gusta |
| <input type="checkbox"/> Más de lo que me gusta | <input type="checkbox"/> Más de lo que me gusta |
| <input type="checkbox"/> Mucho más de lo que me gusta | <input type="checkbox"/> Mucho más de lo que me gusta |
| 435 | |
| <input type="checkbox"/> Mucho menos de lo que me gusta | |
| <input type="checkbox"/> Menos de lo que me gusta | |
| <input type="checkbox"/> Justo lo que me gusta | |
| <input type="checkbox"/> Más de lo que me gusta | |
| <input type="checkbox"/> Mucho más de lo que me gusta | |

Gracias por su cooperación.

Figura 10. Formato de prueba de agrado

5.2.9. Análisis de textura

El análisis de textura de las barras se realizó basados en las técnicas sugeridas por Kim *et al.* (2009) para barras alimenticias. Se realizó la prueba de tres puntos para medir las propiedades de fractura del alimento, la prueba de corte para obtener la fuerza requerida para la penetración de los dientes (penetración planar) en la muestra y la prueba de punción, comúnmente usado para medir textura en los alimentos.

Se utilizó un analizador de textura TA-HD (Stable Micro Systems XT-RA) con una celda de carga de 10 kg para todos los análisis y una velocidad de prueba de 1.67 mm/seg.

Las muestras se elaboraron con 24 horas de anticipación. Una vez que se enfriaron, se empacaron en bolsas de celofán y se almacenaron en desecadores hasta su uso posterior. El tamaño de cada barra fue de 70 mm x 40mm x 4mm. Las determinaciones se realizaron a temperatura ambiente y cada muestra se midió por cuatuplicado.

5.2.9.1. Prueba de tres puntos

Una muestra de 60 mm de largo, 40 mm de ancho y 4 mm de espesor se colocó sobre un soporte con dos postes metálicos separados 30.46 mm entre sí. Se aplicó una fuerza de contacto de 0.005 kg mediante una sonda de 5 mm de diámetro exactamente sobre el centro de la barra. Se graficó la curva de 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).

5.2.9.2. Prueba de corte

La prueba de corte se realizó con una cuchilla de 70.14 mm de largo y 4.15 mm de bisel. La muestra de las mismas dimensiones que en la prueba de tres puntos, fue colocada sobre una base metálica con una ranura en el centro, de manera que la cuchilla pudiera atravesar la muestra y la base exactamente por dicha abertura. Las barras se cortaron al 100% de su espesor original y se graficó la curva de fuerza-deformación para obtener 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 distancia de ruptura (mm).

5.2.9.3. Prueba de punción

Los remanentes de la muestra de la prueba de tres puntos fueron usados para este análisis. Las barras se colocaron sobre una placa metálica con una incisión de 6 mm de diámetro. Se usó una sonda de 30.46 mm de diámetro para realizar la punción con un fuerza de contacto de 5 kg hasta penetrar 7 mm de distancia. Se obtuvieron los mismos parámetros que en la prueba de corte graficando fuerza contra deformación.

5.2.10. Análisis de estabilidad durante el almacenamiento

Se realizó un estudio de vida acelerada mediante una isoterma de sorción a 45 °C en ocho cámaras con humedad relativa en el intervalo de 0.1% a 97.3%. Brevemente, 2 gr de muestra se pesaron por duplicado en frascos de vidrio previamente llevados a peso constante y se colocaron en cámaras selladas conteniendo soluciones saturadas de diferentes sales para dar la atmósfera deseada. En el Cuadro 6 se muestran las sales usadas para obtener las condiciones de humedad relativa para cada una de las cámaras.

Cuadro 6. Condiciones de humedad relativa y sales utilizadas para una isoterma de sorción de barras de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y avena (*Avena sativa*) a 45°C

| Sal | Fórmula química | Humedad relativa a 25 °C (%) |
|----------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Sulfato de calcio | CaSO ₄ | 0.10 |
| Acetato de potasio | CH ₃ COOK | 2.25 |
| Cloruro de magnesio | MgCl ₂ | 3.27 |
| Carbonato de potasio | K ₂ CO ₃ | 4.31 |
| Bromuro de sodio | NaBr | 5.76 |
| Nitrito de sodio | NaNO ₂ | 6.54 |
| Cloruro de sodio | NaCl | 7.52 |
| Cloruro de potasio | KCl | 8.43 |
| Sulfato de potasio | K ₂ SO ₄ | 9.73 |

Se registró el peso de cada una de las muestras cada cinco días por 4 semanas, al término de las cuales se realizó la determinación de humedad y actividad acuosa de las barras. Para construir la isoterma de adsorción, se graficaron los valores de humedad contra actividad acuosa. Se obtuvieron los valores de monocapa, humedad (kg H₂O/ kg muestra seca) y actividad acuosa crítica, es decir a la cual se garantiza la estabilidad del producto en condiciones dadas.

5.3. Análisis estadístico

Para obtener las diferentes formulaciones de las barras se llevó a cabo un diseño estadístico de mezclas con una restricción. Adicionalmente, para la prueba de ordenamiento, se elaboró un diseño en bloques incompletos. Los datos obtenidos de la prueba de agrado se analizaron mediante la prueba χ^2 .

Los resultados que se obtuvieron de los análisis se expresaron como la media \pm error estándar como medida de dispersión de los datos. Las diferencias entre medias se analizaron por el método de Tukey, utilizando el programa JMP.5.0.1.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Resultados de grupo de enfoque

Los asistentes a las sesiones de grupo de enfoque fueron seleccionados mediante la encuesta mostrada en la sección de métodos en el Cuadro 5. Después de aplicar 40 encuestas, se eligieron a aquellos encuestados que mostraron una preferencia de consumo por botanas saladas, con frecuencia de compra de por lo menos 1 vez por semana y que estuvieron dispuestos a participar en una sesión posterior. En total se reclutaron 15 participantes.

Se realizó una sesión con 7 participantes y otra con ocho. Los resultados que se obtuvieron se muestran a continuación:

1. ¿Consumen botanas?

- El 100% de los participantes consumen botanas

2. ¿Consumen botanas saladas?

- 100% de los participantes consumen botanas saladas

3. Frecuencia de consumo:

- 56% consumen botanas saladas 2 a 3 veces por semana
- 38% consumen botanas saladas 2 a 3 veces por semana
- 6% consumen botanas saladas 2 a 3 veces por semana

4. ¿A qué hora del día acostumbra consumirlas?

- 50.0% lo hacen a media tarde
- 25.0% lo hacen por la tarde-noche
- 25.0% lo hacen al medio día
- 6.3% no tienen horario fijo para consumirlas

5. ¿Qué tipo de botana prefiere?

- 69% consumen papas
- 69% consumen frituras
- 38% consumen cacahuates
- 38% consumen galletas saladas
- 13% consumen barras 25% consumen twistos y palitos de pan
- 19% consumen otros

6. ¿Dónde adquiere estos productos?

- 75% compran las botanas en tiendas
- 38% compran las botanas en autoservicios
- 31% compran las botanas en supermercados
- 25% compran las botanas en puestos ambulantes
- 19% compran las botanas en cafeterías

7. ¿La botana llega a reemplazar algún alimento?

- 63% nunca reemplaza alguna vez una colación o comida por botana
- 38% reemplaza alguna vez una colación o comida por botana

8. Si es el caso, ¿Por qué prefiere una botana a una comida?

De los participantes que ocasionalmente reemplazan la comida por botanas:

- 67% lo hacen por ahorro de tiempo
- 50% lo hacen por facilidad de transporte

9. ¿Cuál es la característica que más valora a la hora de comprar estos productos?

Característica valorada al momento de compra:

- | | |
|---|-----|
| • Beneficios a la salud/nutritiva/baja en grasa | 56% |
| • Facilidad de consumo/transporte | 44% |
| • Sabor | 44% |
| • Precio | 38% |
| • Accesibilidad o facilidad de compra | 25% |
| • Presentación o empaque | 19% |
| • Convivencia familiar | 6% |

10. ¿Qué beneficios adicionales buscaría en una botana?

El beneficio adicional que los consumidores buscan en una botana:

- | | |
|---------------------------------------|-----|
| • Menos calorías o grasa | 38% |
| • Nutritiva | 38% |
| • Adición de compuestos nutraceuticos | 25% |
| • Buen sabor y textura | 25% |
| • Aporte de vitaminas | 13% |
| • Poco procesada | 6% |

11. ¿Consume frijol y con qué frecuencia?

- 31% de los asistentes consumen frijol 4 a 6 veces por semana
- 25% de los asistentes consumen frijol 1 vez por semana o menos
- 25% de los asistentes consumen frijol 2 a 3 veces por semana
- 19% de los asistentes consumen frijol todos los días

12. ¿Qué otros atributos le gustaría que tuviera la barra?

- Sabor 88%
 - De los cuales:
 - 50% no tienen un sabor específico preferido
 - 29% prefieren un sabor salado
 - 21% prefieren un sabor dulce
- Color 44%
 - De los cuales:
 - 43% prefieren un color tostado/oscurito
 - 29% prefieren un color claro
 - 29% no tienen preferencia por un color específico
- Producto compacto o seco 19%
- Apariencia 13%

13. ¿Qué sabores de relleno preferiría?

- 69% Prefieren una barra con relleno
- 31% Prefieren una barra sin relleno

De los que prefieren con relleno:

- | | |
|-----------------------------|-----|
| ▪ Queso y/o chile | 44% |
| ▪ Frutas | 27% |
| ▪ Nueces/dátiles/pasas | 9% |
| ▪ Chocolate/vainilla/yogurt | 9% |

14. ¿Prefiere una textura crujiente o suave?

- 63% Prefieren textura crujiente
- 25% Prefieren textura suave
- 13% Ni suave ni crujiente, un punto medio

15. ¿Al momento de comprar considera que los beneficios a la salud del producto tienen ventaja sobre otros atributos? Esta pregunta puede estar induciendo un sesgo en la respuesta.

- 94% Consideran que los beneficios a la salud de la barra son una ventaja sobre otros atributos

De los cuales:

- 27% Consideran que el beneficio a la salud es más importante que el precio
- 20% Consideran que el beneficio a la salud es más importante que las características organolépticas
- 7% Consideran que el beneficio a la salud es más importante que la apariencia o presentación
- 47% No saben sobre qué característica tendrían una ventaja los beneficios a la salud

16. ¿Prefiere un producto refrigerado o a temperatura ambiente? Las barras no se venden refrigeradas....

- 88% Prefieren un producto almacenado a temperatura ambiente
- 6% Prefieren un producto almacenado en refrigeración
- 6% Les es indistinto

17. ¿Qué intervalo de precio estaría dispuesto a pagar por una barra de estas características?

- 75% Estarían dispuestos a pagar de 5 a 10 pesos
- 13% Estarían dispuestos a pagar de 3 a 5 pesos
- 13% Estarían dispuestos a pagar más de 10 pesos

18. ¿Cómo debe ser el sabor a frijol en la barra?

- 63% Considera que el sabor a frijol debe apreciarse levemente
- 19% Considera que el sabor a frijol debe ser predominante
- 19% Considera que el sabor a frijol debe enmascararse del todo

19. ¿Considera que este producto representa una ventaja sobre otras botanas saladas?

- 88% Considera que esta barra tiene ventajas sobre otras que se comercializan en México
- 13% No considera que esta barra tiene ventajas sobre otras que se comercializan en México

20. ¿Compraría una barra de frijol-avena con las características ya descritas?

- 100% de los asistentes compraría una barra con estas características

21. ¿En qué lugares le gustaría poder adquirirlas?

- 94% Tiendas
- 88% Supermercados
- 56% Máquinas expendedoras
- 13% Lugares especializados de salud

22. ¿Qué objeciones encuentra para este producto?

Las objeciones están relacionadas con:

- 50% Sabor/apariencia/textura
- 31% Ninguna objeción
- 13% Mercado no acostumbrado a este tipo de productos
- 6% Efectos secundarios (gases)

La información que arrojó este estudio, fue que los consumidores potenciales entre 18 y 35 años prefieren una barra de frijol-avena con textura crujiente, aún cuando el 50% no tiene preferencia por un sabor en especial, se notó una ligera ventaja del sabor salado contra el dulce (29% y 21%, respectivamente), preferentemente queso o combinaciones con notas picantes, de fácil transporte y accesibilidad. El 69% de los participantes desearía que tuviera relleno, sin embargo, este proyecto se enfocó en el desarrollo de la formulación de la barra sin relleno.

El atributo más valorado es el sabor, el 88% de los participantes hicieron énfasis en este punto, aclarando algunos, que sería la característica determinante para la decisión de compra. Respecto a esta cuestión, a la mayoría le gustaría que el sabor del frijol en el producto fuera perceptible levemente, es decir, que no sea predominante en la barra.

Otro punto importante, es que el 88% de los asistentes al grupo de enfoque, desearía encontrar este producto accesible en tiendas y a temperatura ambiente, lo cual representa un reto en cuanto a vida de anaquel. Es necesario entonces estudiar la estabilidad de este producto durante el almacenamiento, lo cual se realizó mediante pruebas de vida acelerada.

Además, casi la totalidad del grupo (94%) considera que los beneficios a la salud tienen mayor importancia sobre otros atributos de la barra, incluso sobre el sabor o la textura. Lo anterior significa una excelente oportunidad de mercado para introducir un producto de este tipo, en donde cada ingrediente ha sido seleccionado por su potencial nutracéutico. En el último año, las ventas de productos en Estados Unidos reducidos en grasa, en calorías o con algún efecto sobre la salud incrementaron en 9% (Sloan, 2009).

6.2. Preparación de las muestras

6.2.1. Harina de frijol

El rendimiento que se obtuvo de frijol después de cada tratamiento térmico (cocción y horneado) se muestra en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Rendimiento de diferentes tratamientos térmicos de frijol

| Muestra | Peso inicial (g) | Peso final (g) | Redimiento (%) |
|---------|------------------|----------------|----------------|
| FCCN | 421 | 135.45 | 32.17 |
| FCCB | 496 | 153.23 | 30.89 |
| FHN | 521* | 282.36 | 54.20 |
| FHB | 596* | 245.2 | 41.14 |

FCCN- Harina de frijol Negro 8025 cocido y liofilizado, FCCB- Harina de frijol Bayo Madero cocido y liofilizado, FHN- Harina de frijol Negro 8025 horneado, FHB- Harina de frijol Bayo Madero horneado, AV- Harina de avena comercial.

*Peso de la muestra cocida incluyendo el agua de cocción

Como se puede observar, la variedad Negro 8025 obtuvo el mayor rendimiento después de liofilizar y después del horneado, lo cual puede cobrar importancia en el ámbito industrial, puesto que se tiene menor merma a pesar de que se parte del mismo peso que la otra variedad. Se han realizado estudios que relacionan el tamaño de semilla con la capacidad de hidratación del frijol y por tanto del rendimiento final del mismo. Berrios *et al.* (1999), reportaron que semillas pequeñas de *P. vulgaris* no lograron hidratarse y suavizarse del todo ni siquiera durante una cocción prolongada.

Hay que destacar que en el presente estudio las semillas de frijol Negro 8025 utilizadas fueron de menor tamaño que las de Bayo Madero, sin embargo, el mayor rendimiento correspondió a la semilla más pequeña. Sólo se han encontrado dos reportes que concuerden con estos resultados, en donde se observó una relación negativa entre tamaño de granos del frijol y la hidratación de los mismos (Del Valle *et al.*, 1992; Abdel Kader *et al.*, 1995). Los autores atribuyen este fenómeno a la mayor área superficial por unidad de masa de las semillas pequeñas y a la mayor densidad que presentaban.

6.3. Análisis proximal y fibra dietética de harinas de frijol y avena

6.3.1. Análisis proximal

La composición proximal de harina de frijol en las dos variedades de estudio, así como la harina de avena se detalla en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Composición proximal y fibra dietética de harinas de frijol común (*P. vulgaris* L.) y avena (*Avena sativa*)

| Muestra | Proteína (%) | Lípidos (%) | Carbohidratos ¹ (%) | Cenizas (%) | Humedad (%) | FDT ² (%) | FDI ³ (%) | FDS ³ (%) | AR ³ (%) |
|---------|----------------------------|---------------------------|--------------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|
| FCN | 16.79 ± 0.19 ^b | 2.4 ± 0.25 ^{bc} | 66.96 ± 0.09 ^d | 3.98 ± 0.13 ^{ab} | 9.86 ± 0.04 ^c | 27.34 ± 0.12 ^f | 24.63 ± 0.18 ^e | 2.71 ± 0.08 ^c | 24.58 ± 0.67 ^b |
| FCCN | 16.71 ± 0.04 ^b | 1.78 ± 0.08 ^{cd} | 76.44 ± 0.11 ^a | 3.80 ± 0.06 ^b | 1.26 ± 0.03 ^e | 38.29 ± 0.36 ^a | 31.73 ± 0.27 ^a | 6.56 ± 0.19 ^a | 24.04 ± 0.32 ^b |
| FHN | 17.53 ± 0.6 ^a | 2.61 ± 0.21 ^b | 64.37 ± 0.41 ^e | 4.23 ± 0.08 ^a | 11.25 ± 0.09 ^b | 33.99 ± 0.23 ^c | 28.36 ± 0.08 ^c | 6.25 ± 0.20 ^a | 25.92 ± 0.05 ^{ab} |
| FCB | 15.40 ± 0.06 ^d | 1.15 ± 0.07 ^d | 68.67 ± 0.22 ^c | 3.9 ± 0.1 ^{ab} | 10.87 ± 0.11 ^b | 30.75 ± 0.15 ^e | 25.72 ± 0.16 ^d | 5.03 ± 0.02 ^b | 27.52 ± 0.25 ^a |
| FCCB | 15.98 ± 0.04 ^c | 2.05 ± 0.10 ^{bc} | 77.01 ± 0.11 ^a | 3.79 ± 0.06 ^b | 1.16 ± 0.03 ^e | 36.02 ± 0.36 ^b | 30.91 ± 0.18 ^b | 5.11 ± 0.18 ^b | 24.95 ± 0.58 ^b |
| FHB | 15.47 ± 0.09 ^{cd} | 2.56 ± 0.09 ^b | 65.02 ± 0.20 ^e | 4.16 ± 0.07 ^{ab} | 12.30 ± 0.10 ^a | 32.37 ± 0.24 ^d | 25.44 ± 0.11 ^d | 6.92 ± 0.12 ^a | 25.57 ± 0.42 ^{ab} |
| AV | 11.88 ± 0.17 ^e | 8.33 ± 0.19 ^a | 69.84 ± 0.12 ^b | 2.36 ± 0.09 ^c | 7.58 ± 0.11 ^d | 16.47 ± 0.07 ^g | 11.94 ± 0.05 ^f | 4.52 ± 0.03 ^b | |

FCN- Frijol Negro 8025 crudo, FCB- Frijol Bayo Madero crudo, FCCN- Harina de frijol Negro 8025 cocido y liofilizado, FCCB- Harina de frijol Bayo Madero cocido y liofilizado, FHN- Harina de frijol Negro 8025 horneado, FHB- Harina de frijol Bayo Madero horneado, AV- Harina de avena comercial, FDT- fibra dietética total, FDI- fibra dietética insoluble, FDS- fibra dietética soluble, AR- Almidón resistente

Los resultados representan la media de tres experimentos independientes ± el error estándar. Diferentes letras en la misma columna expresan diferencias significativas $\alpha=0.05$ en la prueba de Tukey.

¹ El porcentaje de carbohidratos se obtuvo por diferencia de peso.

² FDT se obtuvo sumando el contenido de FDI más FDS

³ El valor reportado se calculó en base al contenido de carbohidratos de cada muestra.

Los valores de proteína de frijol Negro 8025 y Bayo Madero se encuentran en el intervalo de 15% a 17%, en concordancia con lo reportado por otros autores para la semilla cruda y cocida (Paredes-López *et al.*, 2006; Campos-Vega *et al.*, 2009). Se observa un menor contenido proteico que lo informado por Feregrino-Pérez *et al.* (2008), para la variedad Negro 8025, lo cual puede deberse a factores externos como época de cosecha o condiciones climáticas, así como condiciones de almacenamiento. No se observaron diferencias significativas entre las muestras cocidas y crudas de la variedad negra, pero sí para Bayo Madero, encontrándose un ligero incremento de proteína en el frijol cocido. Por otra parte, las harinas de frijol negro horneado aumentaron su contenido proteico, mientras que el frijol bayo no presentó cambio alguno. Lo primero concuerda con trabajos anteriores (Campos-Vega *et al.*, 2009; Feregrino-Pérez *et al.*, 2008) en donde se puede apreciar un incremento en proteína de 20% a 23% para Negro 8025 y 15% a 19% para Bayo Madero, al someter al frijol común a tratamiento térmico. En contraste, existen otros autores que no han informado cambios en el porcentaje de proteína al tratar térmicamente las semillas. Khatoon y Prakash (2004), no encontraron diferencias significativas en el contenido de proteína para variedades francesas de *P. vulgaris* después de someterlas a diferentes tratamientos térmicos (cocción en microondas y en olla de presión).

En cuanto al contenido de lípidos de la semilla, éste se encuentra dentro de los límites reportados para *P. vulgaris* (Paredes-López *et al.*, 2006, De Almeida-Costa *et al.*, 2006). Para frijol Negro 8025, la variación en el porcentaje de lípidos al cocinarlos por el método tradicional no fue significativa. En cambio, después del proceso de horneado se incrementa ligeramente de 1.78% a 2.61%, siendo este último valor igual estadísticamente al de la semilla cruda (2.4%). En el caso de la variedad Bayo Madero, el único cambio se aprecia entre el frijol crudo y cocido, pasando de 1.15% a 2.05%. Campos-Vega *et al.*, 2009 informaron la misma tendencia en el porcentaje de lípidos para el grano crudo y cocido, reportando una disminución de 2 a 1.2% para Negro 8025 y un incremento de 0.8 a 0.9% en Bayo Madero. Previamente, se ha resaltado la importancia biológica del nivel de lípidos presente en el frijol debido a que se pueden formar complejos amilasa-lípidos durante el proceso de cocción, lo cual contribuye a la disminución de retrogradación, además de que afecta la disponibilidad del almidón, dando como resultado una mayor formación de almidón resistente (Carmona-García *et al.*, 2007). Cabe destacar que estos lípidos son ácidos grasos, principalmente ácidos grasos insaturados como el oléico (7-10%), linoléico (21-28%), linolénico (37-54%) y algunos ácidos grasos saturados, primordialmente el palmítico (10-15%) (Paredes-López *et al.*, 2006).

Los valores de cenizas encontrados varían de 3.79% a 4.23%, mismos que se encuentran dentro del intervalo informado por otros autores (Khatoon y Prakash, 2004; Paredes-López *et al.*, 2006; Feregrino-Pérez *et al.*, 2008; Campos-Vega *et al.*, 2009).

Respecto a la avena (Cuadro 8), la composición de lípidos (8%) y proteínas (12%) concuerdan con lo informado anteriormente para este cereal. Kirk y Sawyer (1999) reportan 13% de contenido proteico y 7.5% de contenido graso, de igual manera ACERCA (1994), muestra que el promedio de proteína y grasa de *Avena sativa* L. cultivada en el campo experimental Sierra de Chihuahua, es de 13% y 7%, respectivamente.

6.3.2. Fibra dietética

Los valores de fibra dietética total (Cuadro 8) van desde 27.34% hasta 38.29%, de fibra dietética insoluble (FDI) de 24.63% a 31.73% y fibra dietética soluble (FDS) de 2.71% a 6.92%, respectivamente en las harinas de frijol. Los intervalos anteriores están ligeramente por arriba de lo informado por diversos autores. Por ejemplo, Carmona-García *et al.* (2007) encontraron valores de FDT de 16% para *P. vulgaris* variedad Mayocoba. Granito *et al.* (2002), Khatoon y Prakash (2004) y De Almeida-Costa *et al.* (2006) informaron contenidos de FDI en el intervalo de 19.9% a 28.5% y 1.3 a 2.4% para FDS en diversas variedades de *P. vulgaris*. Las diferencias que se presentan, pueden atribuirse principalmente a la variedad de frijol estudiada, condiciones de almacenamiento y a la técnica de cuantificación. Otra explicación para este fenómeno está relacionada con el hecho de que el material usado durante este trabajo no fue remojado previo a la cocción. De acuerdo a Kuthos *et al.* (2003) el proceso térmico incrementa el contenido de FDI y FDS de granos de frijol cocidos sin remojo, por lo que sugiere que existe una superioridad nutricional respecto a aquellos que fueron remojados y después cocidos. Aún cuando en este estudio también se observó un aumento en frijoles de la variedad pinto remojados, el autor lo atribuye a la lixiviación de polisacáridos que no forman parte de la fibra, al agua de remojo. En concordancia con lo anterior, Campos-Vega *et al.* (2009) informó un intervalo de 25.6% a 55% en diferentes variedades de frijol crudo y cocido sin remojo previo, lo cual también está por arriba de lo reportado.

Para ambas variedades se observa que el contenido de FDI se incrementa al someter a cocción tradicional las semillas, pero disminuye con el horneado. Este aumento es más notorio en el frijol negro, en donde el nivel inicial de FDI en el grano crudo fue de 24.63%. Después de

cocinarlo, este valor llegó a 31.73% para disminuir finalmente con el horneado a 28.36%. Por el contrario, el incremento en frijol bayo fue de 25.72% a 30.91%. Este comportamiento también fue observado por Kutos *et al.* (2003) y Paredes-López *et al.* (2006), quienes vieron que el cocimiento provoca que la fibra soluble disminuya mientras que la fibra insoluble aumenta. Granito *et al.* (2009) también observaron un aumento significativo en el contenido de fibra insoluble con la cocción, que se atribuye a la presencia de almidón resistente retrogradado (AR₃), el cual forma parte del residuo fibroso insoluble hasta en un 5.9% en variedades negras de *P. vulgaris* (Peñalver *et al.*, 2007). Los cambios en la fracción insoluble también se han atribuido a la degradación de cierto porcentaje de almidón presente en los granos, causada por el tratamiento térmico (Acevedo *et al.*, 1994).

El tipo de tratamiento térmico es otro factor que afecta el contenido de fibra dietética. En el presente trabajo se observó que las harinas horneadas de frijol tenían porcentajes menores de FDI en comparación con aquellas que sólo fueron cocinadas con el método tradicional. Rehinan *et al.* (2004), comprobó que un tratamiento térmico a altas presiones promovió la reducción de fibra neutra en 35% y 29% en variedades rojas y blancas de frijol, respectivamente, mientras que la cocción en microondas y por ebullición produjeron una disminución de este componente, pero en menor grado. De la misma manera, un método de cocimiento por extrusión que fue probado con semillas que presentaban el fenómeno de endurecimiento a la cocción, disminuyó el contenido de fibra dietética en 38% y 44% a 155 °C y 170°C, respectivamente con una humedad del 15.5% (Ruíz-Ruíz *et al.*, 2008).

La fracción soluble por su parte, se incrementa de 2.71% en frijol crudo a 6.55% para la harina cocida y liofilizada de la variedad negra, cambio que ya no existe después del proceso de horneado. Con el frijol Bayo Madero, no se observó este incremento de la harina cruda a cocida, sólo se hizo notorio cuando los granos se hornearon pasando de 5.11% a 6.92%. Diversos autores han informado contenidos mayores de fibra soluble después de someter granos de *P. vulgaris* a diferentes tratamientos térmicos, tales como cocción en microondas y tradicional (Marconi *et al.*, 2000; Campos-Vega *et al.*, 2009; Wang *et al.*, 2010). Marconi *et al.* (2000) y Paredes-López *et al.* (2006) sugieren que el aumento en FDS se debe a una redistribución de la FDI, la cual puede ser causada por una solubilización parcial y depolimerización de la hemicelulosa y pectinas insolubles presentes en la fracción insoluble (Vidal-Valverde *et al.*, 1992; Lintas *et al.*, 1995; Carnovale y Lintas, 1995).

Por otra parte, los resultados obtenidos de FDT para la harina de avena fueron de 25.28% (Cuadro 8). Cabe mencionar que las muestras de avena analizadas, al ser de una marca comercial llevan un procesamiento tecnológico por parte del proveedor el cual no se conoce completamente y por tanto los datos obtenidos no son comparables con aquellos del cereal crudo. Por lo general, se aplica un tratamiento hidrotérmico antes del procesado para facilitar el rolado, minimizar los efectos de lipooxigenasas y lipasas que pueden llevar a la formación de productos oxidados con sabor indeseables, además de ayudar a la disminución de la carga bacteriana (Wood y Beer, 1998).

Hasta el momento, los reportes del contenido de fibra consultados son de los granos de avena cruda. La única referencia con que se cuenta, es la tabla nutrimental en el envase del producto, según el cual el contenido de fibra total, insoluble y soluble es 8.6%, 4.3% y 4%, respectivamente. Estos valores están por debajo de lo encontrado en el presente trabajo, lo cual sugiere un posible incremento de la fibra dietética por efecto del procesamiento de la avena.

La proporción de fibra insoluble (11.94%) fue mayor que la fibra soluble (4.52%) en la harina de avena, lo cual concuerda con los hallazgos de otros autores. Czerwiński *et al.* (2004) obtuvieron valores de 6.9% y 9.7% para FDS y FDI, respectivamente en variedades polacas de este cereal crudo, mientras que Manthey *et al.* (1999) lo hicieron en el intervalo de 6-7% de FDI y 4.1-4.9% FDS.

6.3.3. Almidón resistente

Como se muestra en el Cuadro 8, los resultados de almidón resistente para las dos variedades en estudio de *P. vulgaris* crudo fluctúan en el intervalo de 24.58% a 27.52%, lo cual concuerda con lo informado por varios autores (Marconi *et al.*, 2000; Pujolà *et al.*, 2007; Granito *et al.*, 2008; Granito *et al.*, 2009). El frijol Bayo Madero tuvo mayor proporción de este compuesto que la el negro. Englyst *et al.* (1992), atribuye la diferencia entre variedades al grado de cristalinidad o a la proporción amilosa/amilopectina de los gránulos de almidón del frijol, de los cuales, se sabe que afectan la digestibilidad del almidón.

Una vez que los granos fueron cocidos, se observó una reducción en el contenido de almidón resistente (AR) tanto en frijol negro como en bayo, pasando de 24.58 a 24.04% en la primera variedad y de 27.52 a 24.95% en la segunda. Granito *et al.* (2009), sometieron semillas de frijol negro cultivado en Venezuela a diferentes procesos, entre ellos a cocción tradicional, observando que luego del procesamiento, el contenido de AR disminuyó considerablemente. La

disminución más notable fue en la variedad Papa, cuyos valores fueron de 22.51 ± 0.55 y 7.56 ± 0.09 en porcentaje para las semillas crudas y cocidas, respectivamente. Esta tendencia fue también observada por Pujolà *et al.*, (2007), quienes afirman que cierta parte del almidón resistente se convierte a almidón disponible durante la cocción tanto por acción enzimática, como por el calor aplicado, explicando parcialmente la disminución de este componente. Otro mecanismo que puede describir este comportamiento, tiene que ver con la naturaleza del grano en sí. Se sabe que el tipo de almidón resistente presente en las leguminosas es el clasificado como AR₁ o físicamente inaccesible (Englyst *et al.*, 1992), el cual se encuentra atrapado en una matriz celular. Una vez que las semillas de frijol son procesadas térmicamente, se podrían dañar o degradar esta matriz celular liberando el almidón y por tanto convirtiéndose en disponible para su absorción.

Al aplicar un nuevo tratamiento térmico (horneado) a las muestras en estudio, se incrementó la proporción de AR en las harinas de frijol. Dicho aumento, de 24.04 a 25.92%, sólo fue significativo para frijol Negro 8025. No se han encontrado referencias para frijol horneado bajo estas condiciones en cuanto al contenido de AR se refiere, por tanto, no es posible hacer una comparación con otros autores. Sin embargo, puede sugerirse que este incremento está asociado al doble tratamiento térmico al que fueron sometidos los granos. El almidón resistente tipo III (AR₃) comprende a los almidones retrogradados que se forman en alimentos cocinados y que son almacenados a cierta temperatura, donde el fenómeno de retrogradación se ha iniciado (Englyst *et al.*, 1992). Se ha visto que después de cocinarse y enfriarse, en los frijoles se inicia la retrogradación del almidón, lo cual lo hace menos accesible para la acción de amilasas (Tovar *et al.*, 2006). Las muestras en estudio fueron horneadas por 12 horas y después se dejaron enfriar a temperatura ambiente por 30 a 45 minutos antes de pulverizarse y almacenarse en refrigeración. Este proceso en donde los frijoles se dejaron reposar también pudo haber contribuido al proceso de retrogradación del almidón, como lo observó Rosin *et al.* (2002), quien encontró que hubo una apreciable formación de AR₃ en frijoles cocinados y almacenados por 30 días, respecto a frijoles que solamente fueron cocinados e inmediatamente sometidos a análisis.

En general, como resultado de diferentes métodos de cocción se observó que el contenido de AR se incrementó significativamente. Lo anterior representa una ventaja al desarrollar un nuevo producto, no sólo por el valor nutracéutico que puede aportar el frijol como ingrediente, también como estrategia para mejorar la etiqueta nutrimental del alimento. Dado que se ha visto que este componente tiene funciones fisiológicas y efectos sobre la salud similares a la fibra

dietética soluble (Saura-Calixto *et al.*, 2000), es importante destacar los beneficios que implica un contenido alto de AR. Entre estos se puede señalar la disminución de la respuesta glicémica e insulinémica post-prandiales (Vargas-Torres *et al.*, 2004), disminución de los niveles de colesterol sanguíneo, del riesgo de cáncer de colon y enfermedades cardiovasculares, actividad bifidogénica (Queiroz-Monici *et al.*, 2005), incremento del volumen fecal y beneficios especiales para los diabéticos (Paredes-López y Valverde, 2006). Además se ha sugerido que es un coadyuvante en la pérdida de peso (Higgins *et al.*, 2004).

Como ya se había informado, el frijol presenta mayor contenido de proteína, fibra total, insoluble, soluble y de almidón resistente. Estos componentes están relacionados no sólo con el valor nutritivo, sino también nutracéutico y seguramente la combinación permitirá ofrecer un producto con mayores atributos nutrimentales y nutracéuticos.

6.4. Cuantificación de compuestos fenólicos en harinas de frijol y avena

El Cuadro 9 muestra el contenido de flavonoides y fenoles totales en las harinas de frijol y avena

Cuadro 9. Contenido de flavonoides y taninos condensados en harinas de frijol común (*P. vulgaris* L.) y avena (*Avena sativa*)

| Muestra | Flavonoides totales (mg eq. rutina/g muestra) | Taninos condensados (mg eq. (+)-catequina/g muestra) |
|---------|--|---|
| FCN | 3.29 ± 0.04 ^c | 9.89 ± 0.28 ^a |
| FCCN | 1.95 ± 0.05 ^d | 8.92 ± 0.15 ^b |
| FHN | 3.84 ± 0.14 ^{b, c} | 9.86 ± 0.12 ^a |
| FCB | 3.54 ± 0.135 ^{b, c} | 5.68 ± 0.08 ^{c, d} |
| FCCB | 1.56 ± 0.05 ^d | 5.26 ± 0.06 ^d |
| FHB | 2.39 ± 0.09 ^d | 5.86 ± 0.07 ^{b, c} |
| Av | 1.69 ± 0.011 ^d | 1.26 ± 0.01 ^e |

FCN- Frijol Negro 8025 crudo, FCB- Frijol Bayo Madero crudo, FCCN- Harina de frijol Negro 8025 cocido y liofilizado, FCCB- Harina de frijol Bayo Madero cocido y liofilizado, FHN- Harina de frijol Negro 8025 horneado, FHB- Harina de frijol Bayo Madero horneado, AV- Harina de avena comercial. Los resultados representan la media de tres experimentos independientes ± el error estándar. Diferentes letras en la misma columna expresan diferencias significativas $\alpha=0.05$ en la prueba de Tukey.

Los resultados de flavonoides totales varían de 1.5 a 3.5 mg eq. rutina/g de muestra para las harinas de frijol. Dichos valores entran dentro del intervalo informado por otros autores (Feregrino-Pérez *et al.*, 2008; Gálvez-Ranilla *et al.*, 2009; Xu y Chang, 2009), quienes obtuvieron

resultados que van de 4.1 ± 0.03 mg/g de materia seca hasta 5 mg eq. catequina/g de peso seco en muestras de frijol crudo y cocido. Feregrino-Pérez *et al.* (2008), observaron contenidos entre 1.9 y 1.8 mg eq. rutina/g de muestra para frijol crudo y cocido de la variedad Negro 8025, respectivamente. Para esta misma variedad, los autores informan valores de taninos condensados de 21.04 y 15.15 mg eq. de (+)-catequina/g muestra en granos crudos y cocidos, lo cual está por arriba de lo detectado en el presente trabajo (5.26 a 9.89 mg eq. de (+)-catequina/g muestra). Recientemente en nuestro grupo de trabajo, se determinaron taninos condensados por 8.15 ± 0.10 mg eq. de (+)-catequina/g muestra en harinas de frijol Bayo (datos no publicados), así como en un extracto de polisacáridos encontrando 0.8 ± 0.03 mg eq. de (+)-catequina/g muestra (Campos-Vega *et al.*, 2009). Las variaciones encontradas en el contenido de compuestos fenólicos en *P. vulgaris*, pueden deberse principalmente a la variedad, condiciones climáticas, de almacenamiento así como factores de proceso. Gálvez-Ranilla *et al.* (2009) realizó un experimento factorial con frijoles de dos cultivares brasileños variando la temperatura de cocción (100 y 121 °C), tratamiento previo a la cocción (remojo o sin remojo de las semillas) y drenado del agua de cocción. Los tratamientos sin remojo previo y sin drenar el caldo de cocción tuvieron el mayor contenido de flavonoides y polifenoles. En el tratamiento sin remojo y sin drenado a 100 °C se cuantificaron flavonoides en el intervalo de 21 ± 0.4 a 50 ± 0.1 mg/ 100 g de muestra seca, mientras que con remojo y sin drenado del caldo, estos compuestos disminuyeron considerablemente (11 ± 1.0 a 23.9 ± 0.1 mg/ 100 g de muestra seca)

Es notorio que el frijol negro fue superior en cuanto a contenido de taninos condensados se refiere. Se ha sugerido que existe una relación entre los niveles de estos compuestos y el color de la testa de frijol, por lo que las variedades de color claro tienen menor cantidad de taninos que las oscuras (Barampama y Simard, 1993).

Por otra parte, se puede observar que en frijol Negro 8025 existe una disminución significativa en el contenido de taninos condensados y flavonoides después del proceso de cocción de los granos, no así para la variedad Bayo Madero, en donde no se presentó ningún cambio en taninos después del tratamiento térmico por ebullición y el horneado. Xu y Chang (2009) pudieron comprobar que después de la cocción de semillas de *P. vulgaris* variedad pinto hubo un decremento de 67-84% en flavonoides totales y de 32-54% en taninos condensados.

Se sabe que el tratamiento térmico influye de manera importante en la concentración de compuestos fenólicos. Aparicio-Fernández *et al.* (2005), reportaron que hubo una disminución del 70% del contenido de taninos condensados en frijol negro, cultivar Jamapa (de 13.76 ± 1.2 mg eq.

de (+)-catequina/ g de grano entero crudo a 4.1 ± 0.4 mg/g grano entero cocido), mientras que Gálvez-Ranilla *et al.* (2009) encontraron una disminución de flavonoides de 41 ± 0.03 a 21.3 ± 0.4 mg/mg peso seco de la muestra en frijol crudo y cocido del cultivar FT Nobre, proveniente de Brazil. La disminución de compuestos fenólicos se ha atribuido a que el calentamiento induce la degradación de los polifenoles y rompe ciertos enlaces fenólicos (Xu y Chang, 2009).

En cuanto a las variaciones en el perfil de compuestos fenólicos a lo largo de los diferentes tratamientos encontradas entre frijol negro y bayo, éstas pueden atribuirse a las diferencias en la distribución y composición de los componentes individuales en la testa y cotiledón de las semillas de ambas variedades (Xu y Chang, 2009).

Para el frijol negro, al dar un nuevo tratamiento térmico (horneado), el contenido de compuestos fenólicos aumenta otra vez. Este incremento después de tratamientos térmicos no tradicionales, ya ha sido descrito previamente. Boateng *et al.* (2008) observó un incremento en flavonoides totales (mg eq. catequina/g de materia seca) y en proantocianidinas (mg eq. leucocianidina/g materia seca) en el intervalo de 0.23 a 1 mg/g peso seco y 0.2 a 3.25 mg eq. leucocianidina respectivamente en frijoles tostados en microondas. Por su parte, Siddhuraju y Becker (2001), sometieron a calentamiento seco leguminosas provenientes de la India (*Mucuna pruriens* var. *utilis*) y encontraron una disminución en fenoles totales. Los autores atribuyen este comportamiento a la ruptura celular durante el calentamiento o a la degradación de ciertos fenólicos insolubles, mejorando la extractabilidad de estos compuestos.

Respecto a la avena (Cuadro 9), los valores de flavonoides y taninos condensados están en el intervalo de 1.69 ± 0.011 mg eq. rutina/g y 17.744 ± 0.18 mg eq. (+) -catequina/g muestra. De la misma manera que con el contenido de fibra, hasta donde se tiene conocimiento, este sería el primer reporte de los compuestos fenólicos mencionados para avena comercial.

6.5. Selección de ingredientes para las barras

Los ingredientes que se utilizaron para la formulación de las barras fueron seleccionados en base a su funcionalidad para cumplir con los atributos deseados por los consumidores. En el Cuadro 10 se resume la lista de materiales de la barra, así como su función.

Cuadro 10. Funcionalidad de ingredientes de la formulación

| Ingrediente | Función |
|--------------------|---|
| Harina de frijol | Aporte de compuestos nutraceuticos: fibra, almidón resistente, compuestos fenólicos. Además del aporte nutricional. |
| Harina de avena | Fuente de fibra soluble, β -glucanos, imparte viscosidad en solución y aporte nutricional. |
| Harina de trigo | Mejorar la calidad de la masa, fuente de fibra insoluble |
| Agua | Humectación, en conjunto con las proteínas del trigo, β -glucanos de avena y fibra da estructura al producto |
| Mucílago de linaza | Da cohesión a la masa, evita que el producto horneado se disgregue |
| Lecitina de soya | Emulsificante, agente ligante de los ingredientes. Contiene lípidos benéficos como fosfolípidos y glucolípidos, que ayudan a la disminución de colesterol y enfermedades cardiovasculares |
| Aceite vegetal | Lubricante, mejora textura y palatabilidad del producto final |
| Melaza | Fuente de azúcares que mejoran palatabilidad. Durante el horneado reaccionan con aminoácidos para dar el color característico tostado. Contribuye a mejorar textura. |
| Sal | Potenciador de sabor, equilibra humedad por sus propiedades higroscópicas |

Granito *et al.*, 2003; Marquart *et al.*, 2003; A.A.P.P.A., 2004; Collar, 2008; Figuerola *et al.*, 2008; Sadiq *et al.*, 2008; Vodovotz, 2008.

6.5.1. Aspectos tecnológicos del producto

Es importante tomar en cuenta el aspecto tecnológico al desarrollar un nuevo producto, por lo que saber el comportamiento de cada componente de los ingredientes principales es imprescindible. Se tomó como base al análisis proximal de las harinas de frijol y avena (Cuadro 8),

así como estudios previos en nuestro grupo de trabajo con la harina de trigo que se utilizó para la elaboración de las barras para analizar su comportamiento. La principal diferencia de la harina de frijol con la harina de trigo reside en el contenido de proteína y carbohidratos (16.79% y 71.24%, respectivamente), además de que el frijol aporta mayor cantidad de fibra que el trigo (18%).

6.5.1.1. Frijol

Las barras comerciales tienen como ingrediente principal el trigo, en nuestro producto se sustituye este cereal en parte por frijol, lo cual aumenta el porcentaje de fibra y proteína en la formulación, mientras que el de carbohidratos es menor. El aumento en fibra disminuye el volumen del producto final, así como su densidad (Collar, 2008). Para una barra alimenticia, esto no representa un inconveniente, puesto que se busca un producto compacto.

Tecnológicamente, este aumento de fibra aumenta la capacidad de retención de agua (Chandalia *et al.*, 2000; Collar, 2008). Esto puede tener dos implicaciones, la primera relacionada con la vida de anaquel del producto pues a mayor contenido de agua, mayor facilidad para que se lleven a cabo las reacciones degradativas o microbianas (Roos, 2001), además de defectos como reblandecimiento. Por otro lado, se necesitaría más tiempo de cocción o energía para remover esta humedad residual, por lo que es importante controlar la cantidad de agua a agregar y utilizar algún producto que la inmovilice como algún hidrocoloide (Garti, 2001).

En cuanto a proteína, se incrementaría su contenido en la mezcla al sustituir trigo, pero la fracción funcional de la proteína del trigo (gluten) disminuiría, lo cual tendría un impacto importante en las propiedades texturales y de cohesión del producto (A.A.P.P.A, 2004; Vodovotz, 2008). Este comportamiento es dependiente del porcentaje de sustitución, se ha informado que la inclusión mayor a 2-5% de leguminosas como soya en pan, tiene implicaciones sensoriales negativas, tales como menor volumen y textura indeseable (Vodovotz, 2008). Cabe mencionar que el propósito de este trabajo fue lograr que el frijol sea el componente mayoritario de la barra y para lograr este cometido, se requirió de la adición de otros aditivos para mejorar las propiedades del producto, que puedan compensar de cierta manera la funcionalidad del gluten en la textura.

Respecto a los lípidos, se vio un contenido similar para ambas harinas, por lo que en cuanto a este componente, se tendría un comportamiento parecido.

6.5.1.2. Avena

En la avena, el componente que marca la diferencia más importante es la grasa, pues la avena tiene mayor contenido (8%) en comparación con trigo (2.4%). La función de la grasa en una formulación es impartir sabor, adhesión y un lubricante para la mezcla (Linden y Lorient, 2000). En combinación con el gluten forma complejos que imparten ciertas características viscoelásticas que contribuyen al desarrollo de la masa y previenen disgregación durante la cocción. Los complejos gluten-lípidos forman una estructura tridimensional que retiene el gas en el proceso de cocción de un pan (A.A.P.P.A., 2004). En este producto, no nos interesa que se lleve a cabo una fermentación y por tanto gasificación y aumento de volumen. El aumento en lípidos, estaría más bien, relacionado con una función lubricante y a la formación de sabores y colores deseables (Bank y Lusas, 2000) por lo que sería posible disminuir la inclusión de aceite vegetal en la formulación.

De manera similar al frijol, los carbohidratos de avena son menores que los de harina de trigo. Cabe mencionar que de acuerdo a la literatura 10% es fibra dietética (Witting de Penna *et al.*, 2003). En este punto, se debe destacar que la fibra de avena, especialmente la soluble (formada principalmente por β -glucanos) tienen un comportamiento muy viscoso cuando se encuentran en solución. Se puede observar alta viscosidad a relativamente bajas concentraciones (1%), por lo que puede ser usado como agente espesante en productos alimentarios, o incluso se ha utilizado como sustituto de grasa (Sadiq *et al.*, 2008).

El porcentaje de proteína es similar para ambos cereales, no obstante, la avena carece de gluten (Sadiq *et al.*, 2008), por tanto, no tendrá las mismas propiedades texturales que el trigo. De igual manera que el frijol se necesitaría agregar algún aditivo que proporcione cohesión, ciertos emulsificantes y surfactantes (como hidrocoloides), o incluso algún almidón modificado (Collar, 2008).

6.5.1.3. Aditivos

Buscando ser compatibles con las nuevas tendencias de consumo, se procuró que los aditivos empleados en este producto fueran naturales o con alguna propiedad nutracéutica además de tecnológica. Por lo anterior, se buscó la adición de ingredientes con estas características.

Almidón modificado:

En la elaboración de botanas horneadas, se han utilizado almidones con alto contenido de amilosa debido a que aportan textura, dan productos firmes y crujientes. Tienen el inconveniente de reducir expansión, pero como ya se ha descrito anteriormente, en este caso no se busca expansión. Si se utiliza además un almidón alto en amilosa que sea resistente, disminuye la retención de agua, lo cual va relacionado con la vida de anaquel y reacciones de deterioro del producto. Entre otros beneficios, tiene propiedades de película, es decir al calentarse forma una cubierta crujiente, extiende la vida de anaquel del producto y aumenta el contenido de fibra total en el producto terminado, pero sin las desventajas de la fibra dietética como sensación fibrosa al masticar, disminuye la absorción de agua y funciona como prebiótico al estimular el crecimiento de bifidobacterias (Huang y Rooney, 2000).

Lecitina de soya:

Es un emulsificante muy utilizado en productos horneados, barras nutritivas y panes. Además de tener la capacidad de emulsificar, es buena fuente de fosfolípidos por lo que su campo de aplicación es amplio incluyendo nutrición y salud. Otro de los beneficios de utilizar lecitina de soya en alimentos, es que se considera un aditivo GRAS por la FAO (Garti, 2001)

Mucílago de linaza:

En productos altos en fibra y con reducción en el contenido de gluten, es importante la adición de un surfactante para contrarrestar los efectos negativos a las propiedades texturales (Shogren *et al.*, 1981). Entre ellos, los hidrocoloides tienen la capacidad de estabilizar soluciones coloidales y emulsiones, modificando la estructura y las propiedades reológicas de una fase acuosa continua (Garti, 2001). Actúan como agentes ligantes ayudando a prevenir el desmoronamiento, además de que participa en la inmovilización de agua. Para la elaboración de las barras, se optó por un subproducto de la linaza, el mucílago, que tiene un comportamiento similar a la goma arábica, además de tener altos niveles de antioxidantes como compuestos fenólicos (Figuerola *et al.*, 2008).

El mucílago de linaza, también conocido como goma de linaza está asociado a la cáscara del grano y está constituido por polisacáridos ácidos y neutros. Se ha informado que las condiciones óptimas para su extracción son: agua entre 85 y 90 ° C a pH 6.5 a 7.0 y con una relación agua: semilla de 13:1. La suspensión se liofiliza o se seca por atomización, obteniéndose rendimientos de 13 a 14 %. La goma de linaza tiene buena capacidad espumante, estabilidad, resistencia a la presencia de sales y viscosidad estable en un amplio intervalo de pH (Hall *et al.*, 2006).

Melaza:

En sustitución de azúcares refinados utilizados en la formulación comercial, se propone el uso de melaza. Los azúcares son necesarios tanto en cuestión de palatabilidad, como para dar ciertas características deseables como el color dorado o tostado en el producto, puesto que en conjunto con aminoácidos desarrollan reacciones de maillard que conllevan a la formación de compuestos coloridos cafés o marrones (A.A.P.P.A., 2004). La adición de melaza no sólo mejora el sabor, sino también puede ser considerada como buena fuente de vitaminas y minerales que el azúcar en sí no tiene.

6.6. Pruebas preliminares del producto

A partir de varios ensayos preliminares para probar diferentes niveles de inclusión de los ingredientes descritos anteriormente, se diseñaron cinco formulaciones básicas para estudiar el comportamiento viscoelástico y sensorial de la masa. También se elaboró una formulación control sin harina de frijol para tener un punto de referencia. En el Cuadro 11 se detalla la composición de cada formulación. Cabe destacar que para fines de simplificar el estudio, los ensayos se realizaron con una sola variedad, Negro 8025.

Cuadro 11. Formulación de barras de frijol y avena para pruebas preliminares

| Formulación | Harina de frijol (%) | Harina de avena (%) | Harina de trigo (%) | Agua (%) | Hojuelas de avena (%) | Lecitina de soya (%) | Aceite vegetal (%) | Mucílago de linaza (%) | Melaza (%) | Sal (%) | Especias (%) |
|-------------|----------------------|---------------------|---------------------|----------|-----------------------|----------------------|--------------------|------------------------|------------|---------|--------------|
| 1* | 0.00 | 43.0 | 14.5 | 22 | 1 | 5 | 3.5 | 3 | 3.4 | 0.5 | 4 |
| 2 | 21.5 | 21.5 | 14.5 | 22 | 1 | 5 | 3.5 | 3 | 3.4 | 0.5 | 4 |
| 3 | 26.8 | 16.2 | 14.5 | 22 | 1 | 5 | 3.5 | 3 | 3.4 | 0.5 | 4 |
| 4 | 32.2 | 10.7 | 14.5 | 22 | 1 | 5 | 3.5 | 3 | 3.4 | 0.5 | 4 |
| 5 | 37.6 | 5.3 | 14.5 | 22 | 1 | 5 | 3.5 | 3 | 3.4 | 0.5 | 4 |
| 6 | 43.0 | 0 | 14.5 | 22 | 1 | 5 | 3.5 | 3 | 3.4 | 0.5 | 4 |

* Formulación control

Como se aprecia en el Cuadro 12, al aumentar la inclusión de harina de frijol, se obtiene una masa de menor calidad por lo que es muy difícil manejarla y moldearla. Una de las razones para este comportamiento, es que se está aumentando el contenido de fibra y disminuyendo el de gluten pero manteniendo constante la cantidad de agua y otros aditivos.

Cuadro 12. Propiedades de la masa de las formulaciones preliminares de la barra de frijol y avena

| Formulación | Observaciones |
|-------------|--|
| 1 | La masa se liga fácilmente, es suave y fácil de manejar, aún cuando se parte muy ligeramente, es fácil de moldear. |
| 2 | La masa se liga rápidamente y todavía es maleable con cierta facilidad, se siente reseca y tarda un poco en cohesionarse. Al tenerla ya amasada y darle forma tiende a romperse un poco. |
| 3 | No se liga muy bien, la masa es quebradiza y porosa. Se siente reseca al tacto y es difícil de amasar. Con el tiempo se liga, pero se parte fácilmente. |
| 4 | Es difícil de ligar y lograr que se cohesionen, suelta muchos finos. Al amasarla, al paso del tiempo se endurece y no se puede manejar bien. Se parte con mucha facilidad. Fue muy complicado lograr darle las dimensiones deseadas. |
| 5 | Masa reseca, no se integra. No es posible moldearla debido a que ni siquiera está cohesionada. |
| 6 | Al mezclar, se disgrega fácilmente, la masa es débil y no se liga bien. Es demasiado porosa y difícil de manejar, prácticamente no se puede moldear, se parte con facilidad. Cabe destacar que aunque tiene más frijol, se siente más humectada que la formulación 5 y no se endurece con el tiempo. |

6.6.1. Análisis de absorción de agua

Basados en esta información y debido a que el agua es uno de los componentes mayoritarios en la formulación, se determinó el índice de absorción de agua de cada una de las formulaciones y de las harinas, para tener una referencia de la proporción que debe agregarse al aumentar el porcentaje de harina de frijol.

6.6.1.1. Índice de absorción de agua de harinas de frijol y avena

En los procesos industriales de elaboración de productos alimenticios tales como galletas y barras alimenticias, la influencia de la absorción de agua en la consistencia de la mezcla o masa es importante, debido a que las variaciones en la consistencia afectan no sólo las propiedades

sensoriales, sino inducen o facilitan el crecimiento microbiano y ocasiona problemas durante el empaque (Gates, 2007). Para saber exactamente la relación agua:frijol que debe agregarse al producto, se realizaron análisis de absorción de agua (IAA) tanto para las harinas individuales (frijol, avena, trigo) como para las 6 formulaciones. En el Cuadro 13, se detalla el IAA de las harinas.

Cuadro 13. Índice de absorción de agua de harinas de frijol, avena y trigo

| Muestra | Índice de absorción de agua (g de pellet/g sólido seco) |
|----------------|--|
| FCN | 3.05 ± 0.01 ^b |
| FCB | 2.92 ± 0.03 ^b |
| FHN | 3.49 ± 0.01 ^a |
| FHB | 3.55 ± 0.03 ^a |
| AV | 2.06 ± 0.06 ^c |
| TRIGO | 1.59 ± 0.002 ^d |

FCN- Frijol Negro 8025 crudo, FCB- Frijol Bayo Madero crudo, FHN- Harina de frijol Negro 8025 horneado, FHB- Harina de frijol Bayo Madero horneado, AV- Harina de avena comercial.

Los resultados representan la media de tres experimentos independientes ± el error estándar.

Diferentes letras en la misma columna expresan diferencias significativas $\alpha=0.05$ en la prueba de Tukey.

El índice de absorción de agua de las harinas de frijol crudo (3.05 ± 0.01 y 2.92 ± 0.03 g pellet/ g sólido seco para Negro 8025 y Bayo Madero) fue estadísticamente mayor al de las harinas de frijol horneado (3.49 ± 0.01 y 3.55 ± 0.03 g pellet/ g sólido seco para la variedad negra y bayo, respectivamente), indicando que efectivamente el tratamiento térmico afectó este parámetro. También se observa que entre variedades no hubo diferencias significativas en harinas crudas y horneadas. Estos resultados eran de esperarse, debido a que al someterse a tratamiento térmico, ocurre una serie de cambios en la estructura del grano de frijol, tales como gelatinización del almidón y desnaturalización de algunas proteínas (Alonso *et al.*, 2000) que dan como resultado un aumento en el índice de absorción de agua. Incluso, se ha utilizado como indicativo de que un frijol se ha cocinado adecuadamente si se encuentra en un intervalo de IAA entre 2.64-3.73 g de agua/g muestra (Granito *et al.* 2004).

Comparando con la harina de avena (2.06 ± 0.01 g pellet/ g sólido seco) y trigo (1.59 ± 0.002 g pellet/ g sólido seco), la harina de frijol tanto cruda como horneada tuvo un IAA más elevado. Este comportamiento puede ser explicado parcialmente por el tratamiento térmico al que se sometió el frijol, el cual, como ya se mencionó anteriormente, incrementa el IIA del grano. Por el contrario, ni la avena ni el trigo tuvieron algún tipo de cocción previa a su uso como ingrediente para las barras. Otro factor que tiene impacto sobre el aumento del IIA es el alto contenido de proteína de la leguminosa en comparación con los dos cereales (avena y trigo). Alonso *et al.* (2000), mostraron que el tratamiento térmico desnaturaliza ciertas proteínas, teniendo como consecuencia un incremento en la accesibilidad de los aminoácidos polares, mejorando su afinidad por el agua. Adicionalmente, el alto contenido de carbohidratos del frijol, juega un papel importante en un aumento en la absorción de agua. 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).

También se observa que la harina de avena (2.066 ± 0.06 g pellet/g sólidos) presenta un IAA mayor en comparación con el trigo (1.59 ± 0.002 g pellet/g sólidos de trigo). Se sabe que un aumento en la proporción de fibra aumenta la capacidad de retención de agua (Chandalia *et al.*, 2000; Collar, 2008), por lo que se puede atribuir a este factor el mayor IAA de la avena. Además, los β -glucanos presentes en este cereal, al ser un tipo de fibra también tiene la capacidad de retener agua, formando soluciones muy viscosas (Sadiq *et al.*, 2008).

6.6.1.2. Índice de absorción de agua y capacidad de absorción de agua de las formulaciones de prueba

Los resultados de la determinación del Índice de absorción de agua (IAA) y capacidad de absorción de agua (CAA) de las formulaciones previamente descritas en (Cuadro 11) se muestran en las Figuras 11 y 12.

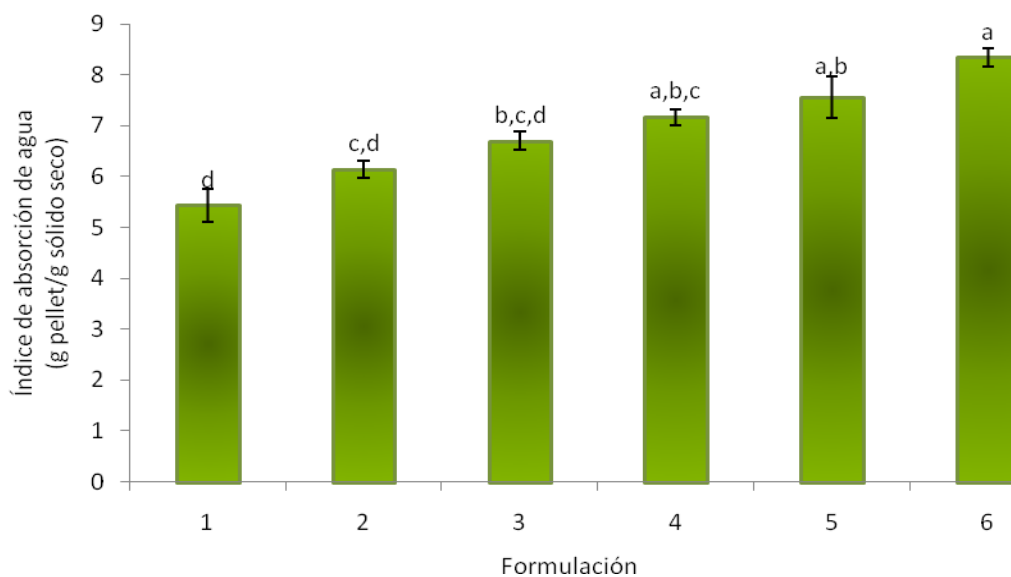


Figura 11. Índice de absorción de agua de las formulaciones de prueba de las barras frijol-avena.

1: Formulación control sin adición de frijol y 43% de avena, 2: 21.5% de frijol y 21.5% de avena, 3: 26.8% de frijol y 16.2% de avena, 4: 32.2% de frijol y 10.7% de avena, 5: 37.6% de frijol y 5.3% de avena, 6: 43% de frijol y sin adición de avena.

Diferentes letras en la misma columna expresan diferencias significativas $\alpha=0.05$ en la prueba de Tukey.

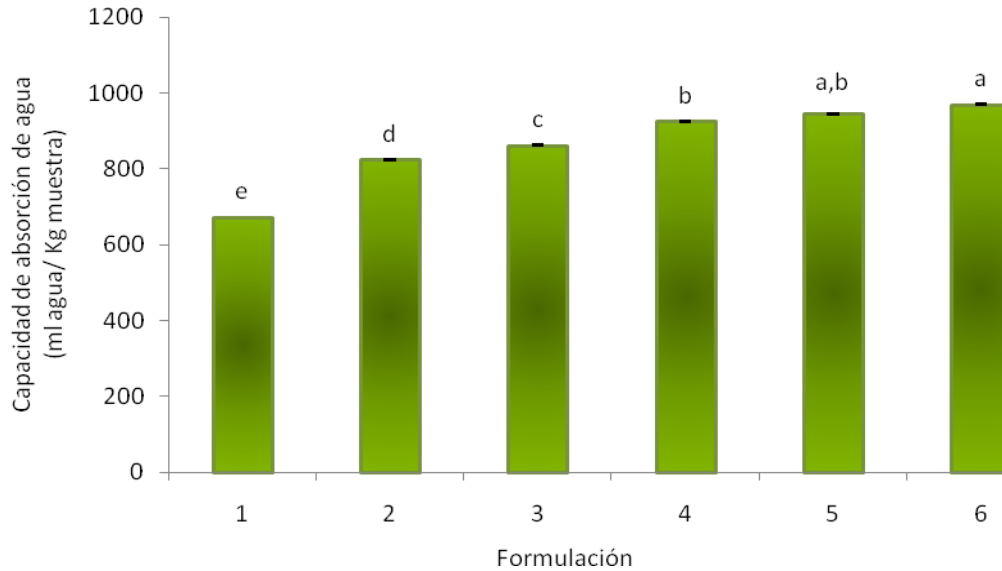


Figura 12. Capacidad de absorción de agua de las formulaciones de prueba de las barras frijol-avena

1: Formulación control sin adición de frijol y 43% de avena, 2: 21.5% de frijol y 21.5% de avena, 3: 26.8% de frijol y 16.2% de avena, 4: 32.2% de frijol y 10.7% de avena, 5: 37.6% de frijol y 5.3% de avena, 6: 43% de frijol y sin adición de avena.

Diferentes letras en la misma columna expresan diferencias significativas $\alpha=0.05$ en la prueba de Tukey.

Se aprecia claramente un incremento tanto en el IAA como en la CAA cuando la inclusión de harina de frijol en la formulación es mayor. En el primer caso, no se encontraron diferencias significativas entre el control y las formulaciones 2 y 3. A partir de la cuarta formulación, es decir a inclusiones mayores de 32.2% de frijol, es cuando se nota un cambio respecto al control. Lo anterior significa que a partir de esta concentración, se debe aumentar significativamente la cantidad de agua en la formulación. Los resultados obtenidos en el análisis de CAA confirman la tendencia de absorción de agua, puesto que para lograr una masa cohesiva y que no presentara ruptura, fue necesario agregar más agua proporcionalmente al contenido de frijol. Durante este análisis, sí se observaron diferencias significativas entre el control y las formulaciones 2, 3 y 4. Sin embargo, a partir de la formulación 4, la cantidad de agua agregada para lograr una masa manejable, no difiere de manera significativa. Este comportamiento podría asociarse al hecho de que en estas formulaciones, la inclusión de frijol ya es muy alta, por lo que un pequeño incremento no refleja de manera importante un impacto en la absorción de agua.

El aumento en retención de agua en productos de panificación, causado por adición de leguminosas ya ha sido descrito previamente. Daubenmire *et al.* (1993), estudiaron los efectos de la adición de fibra de diferentes fuentes, tales como frijoles, soya, arroz, avena y trigo sobre la

calidad de panqués reducidos en grasa. La viscosidad de la masa no se afectó por el origen de la fibra, pero el contenido de humedad fue mayor en aquellos panqués que contenían fibra de las leguminosas.

Cabe mencionar que a partir de este análisis (CAA) se pudo establecer la cantidad necesaria de agua que debía añadirse a cada formulación, para obtener una masa manejable. En la Figura 6 se puede apreciar que para el control, la inclusión de líquido fue de 670 ml/Kg mezcla aproximadamente, mientras que en la formulación 6 (máxima adición de frijol), fue de 970 ml/Kg, es decir, casi lo equivalente al peso de los ingredientes secos. Se confirma entonces que al aumentar la proporción de frijol, por lo tanto de fibra, también debe aumentarse la adición de agua para obtener una masa que pueda dar características adecuadas al producto final.

6.7. Diseño de mezclas

De los datos preliminares obtenidos en el análisis proximal de las harinas de frijol y avena, cuantificación de compuestos fenólicos e índice de absorción de agua, se obtuvo la información necesaria para realizar un diseño estadístico en mezclas. La finalidad de este paso fue generar varias formulaciones del producto, pasando por todas las combinaciones posibles de los ingredientes de acuerdo a las restricciones y niveles de los mismos que se ingresaron en el paquete estadístico JMP 5.0.1.

Este diseño se utiliza cuando las proporciones del sistema (formulación) son aditivas, es decir, los factores expresan porcentajes de los constituyentes y la sumatoria de estos es igual al 100%. Además se asume que la respuesta depende sólo de las proporciones de los ingredientes de la mezcla y no de la cantidad de mezcla (Cornell, 2002).

Los factores utilizados se obtuvieron en base a las pruebas preliminares, de las que se eligieron los ingredientes que tuvieron mayor influencia sobre las características del producto final. Se escogieron cuatro factores para realizar el diseño de mezclas: harina de frijol bayo horneado (x_1), harina de avena (x_2), agua (x_3) y mucílago de linaza (x_4).

Con el propósito de acotar la cantidad de diseños experimentales posibles, se establecieron ciertos intervalos y restricciones para cada uno de los ingredientes, mismos que se describen a continuación.

- a) Cumpliendo con la propiedad aditiva de los ingredientes dada en la definición del diseño de mezclas, se estableció que:

$$\sum_{i=1}^n x_i = x_1 + x_2 + \dots + x_n = 1 \quad \text{Ecuación 1}$$

En este caso: $x_1 + x_2 + x_3 + x_4 = 1$ *Ecuación 2*

Donde: $x_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, n$

Cabe mencionar que para este diseño en específico, la suma de las proporciones de los cuatro factores representó el 68% del total de la formulación, pero para fines de simplificación se ajustó a 100%. Debido a que se manejaron fracciones de las proporciones, la suma de las mismas fue igual a 1.

- b) Se buscó que el frijol representara el ingrediente sólido principal de la formulación, por lo que siempre tendría que ser mayor que el resto de los ingredientes. Lo anterior se representó como:

$$x_1 > x_2, x_3, x_4 \quad \text{Condición 1}$$

Del Cuadro 11 se obtiene el valor mínimo de frijol correspondiente a 21.5% del total de los ingredientes. Este valor se ajustó a la sumatoria de los cuatro factores que representa el 68% del total de la formulación. La proporción ajustada de harina de frijol fue 31.62% (x_1).

$$\frac{21.5}{68} \times 100 = 31.62\%$$

Para obtener el valor máximo de harina de frijol se utilizó la siguiente ecuación:

$$1 - (x_2 \text{ mínimo} + x_3 \text{ mínimo} + x_4 \text{ mínimo}) \quad \text{Ecuación 3}$$

$$1 - (0.213 + 0.323 + 0.044) = 0.42$$

Los valores mostrados en la ecuación 4 para x_2 , x_3 y x_4 se obtuvieron del cuadro 11 y fueron ajustados mediante el mismo procedimiento utilizado para x_1 . Por lo tanto, para harina de frijol, el intervalo que se estableció fue:

$$0.316 \leq x_1 \leq 0.423 \quad \text{Condición 2}$$

- c) La harina de avena fue el segundo componente sólido principal, debido a lo cual no debe ser mayor a 21.5% (mínimo de harina de frijol) ni menor a 14.5% (proporción de harina de trigo en la mezcla). El valores ajustados correspondientes son 31.6% y 21.3%. El intervalo para harina de avena fue:

$$0.213 \leq x_2 \leq 0.316 \quad \text{Condición 3}$$

- d) La cantidad de agua a agregar debe ser proporcional al incremento en harina de frijol como se observó en las Figuras 5 y 6. De las pruebas preliminares descritas en el Cuadro 11 se encontró que el valor mínimo de agua para obtener una masa consistente fue de 22%, razón por la cual se tomó esta proporción como la cantidad mínima de agua en la formulación. De acuerdo a los resultados del análisis de absorción de agua, lo máximo que se necesitó de este componente fue 34%. Los valores ajustados y el intervalo establecido se muestran a continuación.

$$0.323 \leq x_3 \leq 0.433 \quad \text{Condición 4}$$

- e) El límite superior e inferior del mucílago de linaza se estableció en base a la revisión bibliográfica de diferentes métodos de extracción. Para este componente, el valor mínimo y máximo quedó del a siguiente manera:

$$0.044 \leq x_4 \leq 0.073 \quad \text{Condición 5}$$

- f) Se agregó una restricción al programa estadístico relacionada con la proporción de agua respecto a la harina de frijol. Dicha relación se obtuvo de los resultados obtenidos en el análisis de absorción de agua.

| | | |
|--------------------------|------------------------------|-------------------|
| Proporción frijol:agua | $\frac{x_1}{x_3} = k = 1.03$ | |
| Expresada de otra forma: | $x_1 = 1.03 x_3$ | <i>Ecuación 4</i> |

A partir de este valor, se realizó una corrección a la condición 1 y 4.

$$\text{Valor máximo de frijol} = 1 - (x_2 \text{ mínimo} + x_4 \text{ máximo}) = x_1 \text{ máximo} + x_3 \text{ máximo}$$

$$\text{Despejando:} \quad x_1 + x_3 = 0.7135 \quad \text{Ecuación 5}$$

Sustituyendo la ecuación 5 en 6:

$$(1.03x_3) + x_3 = 0.7135$$

$$x_3 = 0.3514 \quad \text{y} \quad x_1 = 0.362$$

En el Cuadro 14 se resumen la información sobre las cantidades de los cuatro ingredientes usados en el diseño de mezclas.

Cuadro 14. Valores mínimos y máximos de los ingredientes utilizados en el diseño de mezclas

| Ingrediente | Valor mínimo (%) | Valor máximo (%) |
|---------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Harina de frijol bayo (x_1) | 32.3 | 36.2 |
| Harina de avena (x_2) | 21.3 | 31.6 |
| Agua (x_3) | 31.6 | 35.1 |
| Mucílago de linaza (x_4) | 4.41 | 7.35 |

La información anterior se alimentó al paquete estadístico, el cual arrojó 27 formulaciones diferentes. Las 27 formulaciones obtenidas mediante el diseño de mezclas se muestran en el cuadro 15.

Cuadro 15. Formulaciones de una barra de frijol común (*P. vulgaris*) y avena (*Avena sativa*) obtenidas mediante un diseño de mezclas.

| Formulación | Harina de frijol bayo (%) | Harina de avena (%) | Agua (%) | Mucílago de linaza (%) |
|--------------------|----------------------------------|----------------------------|-----------------|-------------------------------|
| 1 | 22.1 | 19.4 | 21.5 | 5.0 |
| 2 | 22.1 | 21.4 | 21.5 | 3.0 |
| 3 | 22.1 | 20.4 | 21.5 | 4.0 |
| 4 | 23.4 | 17.9 | 22.7 | 4.0 |
| 5 | 23.4 | 18.9 | 22.7 | 3.0 |
| 6 | 23.4 | 16.9 | 22.7 | 5.0 |
| 7 | 23.4 | 18.1 | 21.5 | 5.0 |
| 8 | 23.4 | 19.1 | 21.5 | 4.0 |
| 9 | 23.4 | 20.1 | 21.5 | 3.0 |
| 10 | 24.0 | 17.3 | 22.7 | 4.0 |
| 11 | 24.0 | 16.3 | 22.7 | 5.0 |
| 12 | 24.0 | 18.3 | 22.7 | 3.0 |
| 13 | 24.6 | 15.5 | 23.9 | 4.0 |
| 14 | 24.6 | 14.5 | 23.9 | 5.0 |
| 15 | 24.6 | 16.5 | 23.9 | 3.0 |
| 16 | 24.6 | 16.5 | 23.9 | 3.0 |
| 17 | 24.6 | 14.5 | 23.9 | 5.0 |
| 18 | 24.6 | 15.5 | 23.9 | 4.0 |
| 19 | 24.6 | 18.9 | 21.5 | 3.0 |
| 20 | 24.6 | 17.9 | 24.5 | 4.0 |
| 21 | 24.6 | 15.5 | 23.9 | 4.0 |
| 22 | 24.6 | 16.9 | 21.5 | 5.0 |
| 23 | 24.6 | 15.7 | 22.7 | 5.0 |
| 24 | 24.6 | 14.5 | 23.9 | 5.0 |
| 25 | 24.6 | 16.5 | 23.9 | 3.0 |
| 26 | 24.6 | 16.7 | 22.7 | 4.0 |
| 27 | 24.6 | 22.7 | 22.7 | 3.0 |

6.8. Prueba de ordenamiento

Cada una de las formulaciones fue codificada como L1 hasta L54, en donde las primeras 27 muestras se elaboraron con frijol Negro 8025 y el resto con Bayo Madero. Con el propósito de realizar una selección de las barras con las características más adecuadas al gusto de los consumidores, se llevó a cabo una evaluación sensorial mediante una prueba de ordenamiento, cuyos resultados se muestran en la Figura 13.

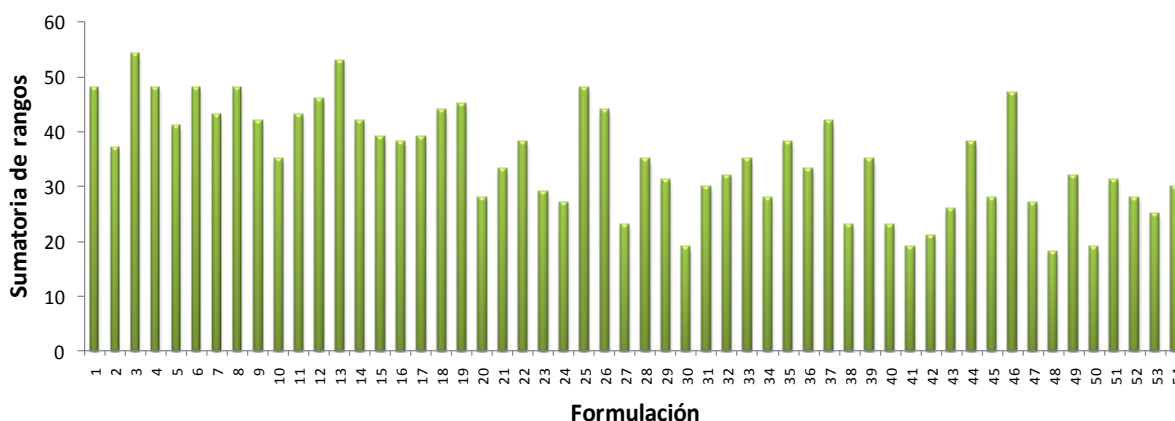


Figura 13. Resultados de prueba de ordenamiento de las barras de frijol (*P. vulgaris*) y avena (*A. sativa*).

La suma de rangos se calculó sumando el puntaje asignado en la prueba de ordenamiento para cada una de las muestras.

En cada formulación se calculó la suma de la puntuación asignada por los panelistas. La escala utilizada establecía que el número '1' debería evaluar la muestra que fuera más preferida y '6' la menos, por lo que aquellas que tuvieran una sumatoria menor serían las de mayor preferencia.

Las formulaciones L30, L41 y L50 obtuvieron 19 puntos, mientras que L48, cuyo puntaje fue el menor, obtuvo 18 puntos, lo que significa que éstas fueron las de mayor preferencia. Con la finalidad de simplificar los análisis posteriores, se eligieron sólo dos productos para continuar con el trabajo experimental. Dichas muestras fueron L48 por haber obtenido la mayor preferencia y L30 por ser la que mayor porcentaje de harina de frijol incluía en la formulación.

6.9. Análisis proximal de las barras frijol-avena

En el Cuadro 16 se muestra la composición proximal de las dos formulaciones con mayor preferencia, así como un control que no incluye harina de frijol.

Cuadro 16. Composición proximal de barras de frijol común (*P. vulgaris*) y avena (*A. sativa*)

| Formulación | Proteína (%) | Lípidos (%) | Carbohidratos (%) | Cenizas (%) | Humedad (%) |
|-------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|---------------------------|
| L48 | 12.63 ± 0.04 ^a | 14.91 ± 0.26 ^b | 61.65 ± 0.17 ^b | 3.83 ± 0.14 ^a | 6.97 ± 0.146 ^a |
| L30 | 12.46 ± 0.05 ^a | 14.82 ± 0.10 ^b | 62.01 ± 0.11 ^b | 3.89 ± 0.05 ^a | 6.80 ± 0.005 ^a |
| CONTROL | 10.09 ± 0.43 ^b | 15.91 ± 0.15 ^a | 64.32 ± 0.32 ^a | 2.60 ± 0.10 ^b | 7.06 ± 0.068 ^a |

L48- Formulación con 23.4% de harina de frijol y 16.9% de harina de avena, L30- Formulación con 24.6% de harina de frijol y 18.9% de harina de avena, CONTROL- Formulación sin inclusión de harina de frijol y 43% de harina de avena.

Los resultados representan la media de tres experimentos independientes ± el error estándar. Diferentes letras en la misma columna expresan diferencias significativas $\alpha=0.05$ en la prueba de Tukey.

No se observaron diferencias significativas en el contenido de proteína entre las dos formulaciones de las barras que tienen frijol (12.46% para L30 y 12.63% para L48). Sin embargo, este compuesto se incrementó sustancialmente respecto al control que no tuvo adición de frijol, por lo que puede sugerirse que la adición de esta leguminosa es una buena alternativa para la fortificación de este tipo de productos. Otra ventaja de esta barra, es que se mezclan leguminosas y cereales. En este caso, la avena y frijol se suplementan en su deficiencia de aminoácidos que presentan cuando se trabajan de manera independiente, dando como resultado un producto de mejor calidad nutritiva.

El contenido de lípidos es menor en las formulaciones de prueba como se puede ver en el Cuadro 13, siendo de 14.82% y 14.91% para L30 y L48, respectivamente, en contraste con 15.91% de la formulación que tiene sólo avena y trigo. Las tendencias actuales en cuanto a consumo de alimentos con menor contenido de lípidos por parte del mercado, es hacia productos con algún beneficio nutricional. La reducción de ingredientes que aportan gran cantidad de calorías, como las grasas representan una ventaja en la formulación de nuevos productos (Endress y Fischer, 2000). De esta manera, la adición de frijol puede considerarse una manera de reducir el contenido de lípidos de una barra alimenticia. Cabe mencionar que el contenido graso de una barra

comercial que goza de un alto consumo en México (All-Bran linaza integral de Kellogg's) es mayor al 20%, substancialmente mayor que cualquiera de las formulaciones de prueba.

Los carbohidratos se encuentran en el intervalo de 61.65% a 64.32%, siendo el control el que tuvo la mayor proporción de este compuesto. Si se compara con la barra All-bran de linaza (57% de carbohidratos totales) se observa que los valores obtenidos con las muestras en estudio son similares.

Hasta donde se tiene conocimiento, no existen informes del contenido de cenizas de una barra alimenticia con adición de leguminosas, por lo que sería el primer reporte de esta naturaleza. De manera similar a los demás compuestos analizados, se observa que las formulaciones L30 y L48 no presentan diferencias estadísticas en cuanto al contenido de cenizas, pero sí aumentan ligeramente en comparación con el control.

El porcentaje de humedad estuvo dentro del intervalo 6.80% a 7.06% y no presentó diferencias estadísticas en ninguna de las formulaciones. Según la Norma Oficial Mexicana 147, no debe excederse el 15% de humedad en productos de panificación y galletas, por lo que según este criterio las barras están dentro del límite especificado. Otras referencias específicas para galletas, marcan como máximo 6% (Normas microbiológicas para alimentos, ENAC, 2010), sin embargo se debe tener en cuenta, que las barras elaboradas tienen diversos ingredientes, tales como fibra, hidrocoloides, lecitina, que aportan mayor humectación y comportamiento reológico diferente a una galleta.

6.10. Determinación de fibra dietética de las barras frijol-avena

El contenido de fibra dietética total, soluble e insoluble de las barras en estudio se muestra en el Cuadro 17.

Cuadro 17. Contenido de fibra dietética total, soluble, insoluble y almidón resistente en barras de frijol común (*P. vulgaris*) y avena (*A.sativa*)

| Formulación | FDT (%) | FDI (%) | FDS (%) | AR (%) |
|-------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|--------------------------|
| L48 | 22.04 ± 0.30 ^a | 18.14 ± 0.31 ^a | 3.89 ± 0.007 ^a | 9.83 ± 0.24 ^a |
| L30 | 20.84 ± 0.08 ^a | 17.54 ± 0.43 ^a | 3.65 ± 0.003 ^b | 7.07 ± 0.63 ^a |
| CONTROL | 12.72 ± 0.77 ^b | 9.44 ± 0.41 ^b | 2.92 ± 0.009 ^a | 9.16 ± 0.91 ^a |

L48- Formulación con 23.4% de harina de frijol y 16.9% de harina de avena, L30- Formulación con 24.6% de harina de frijol y 18.9% de harina de avena, CONTROL- Formulación sin inclusión de harina de frijol y 43% de harina de avena.

FDT- Fibra dietética total, FDI- Fibra dietética insoluble, FDS-Fibra dietética soluble, AR-Almidón resistente. Los resultados representan la media de tres experimentos independientes ± el error estándar. Diferentes letras en la misma columna expresan diferencias significativas $\alpha=0.05$ en la prueba de Tukey.

Los valores de fibra dietética total, insoluble y soluble para las barras estuvieron en el intervalo de 12.72% a 22.04%, 9.44% a 18.14% y 2.92% a 3.89% respectivamente. No se observaron diferencias significativas entre las formulaciones L48 y L30, las cuales mostraron una mayor proporción tanto de fibra dietética total, como de fibra insoluble respecto al control. Lo anterior reafirma la hipótesis de que la adición de frijol es una opción viable para incrementar el contenido de fibra de productos industrializados.

Las leguminosas ya se han utilizado como fuente de fibra para suplementar diversos productos. Ryland *et al.* (2010), reportaron que la adición de hojuelas de lentejas micronizadas como ingrediente en barras alimenticias incrementó el porcentaje de fibra dietética total respecto a un control elaborado sólo con harina de avena y trigo.

En comparación con la barra comercial de linaza, las formulaciones L30 y L48 tienen un contenido superior de fibra. En la etiqueta nutrimental de la barra de linaza se declara en promedio 9.2% de fibra dietética total, lo cual está por debajo del porcentaje de fibra de las barras en estudio.

Los valores de almidón resistente entre las diferentes formulaciones no presentaron diferencias estadísticas significativas entre sí. Sin embargo, en contraste con las harinas de frijol cuyos contenidos de almidón resistente estuvieron en el intervalo de 24.04% a 27.52%, la disminución fue muy notoria debido en su mayoría a un efecto de dilución de este compuesto bioactivo de la harina de frijol al combinarse con otros ingredientes.

El almidón resistente como ingrediente funcional es ampliamente utilizado en barras alimenticias para diabéticos debido a sus efectos fisiológicos. Se ha informado que este compuesto bioactivo está relacionado con una disminución de la respuesta glicémica, lo cual ayuda a controlar los niveles de glucosa en sangre, que a su vez se ha asociado a una disminución del riesgo de desarrollar enfermedades como diabetes, hiperlipidemia y enfermedades cardiovasculares (Brown *et al.*, 2003). De acuerdo a Kendal *et al.* (2004), una dosis de 20 a 30 g/día de AR es necesaria para observar estos efectos fisiológicos. Este nivel de consumo es 3 a 4 veces mayor de lo que realmente se ingiere en una dieta occidental, como es el caso de Estados Unidos, en donde la ingesta diaria es de 3 a 8 g (Murphy *et al.*, 2008). Una porción de 16 g (una barra) de las formulaciones de frijol-avena, en promedio aporta 0.81 g de almidón resistente, lo cual equivale a 15% aproximadamente de la ingesta promedio de Estados Unidos.

6.11. Cuantificación de oligosacáridos

El Cuadro 18 muestra los contenidos de rafinosa, estaquiosa y verbascosa en harinas de frijol horneado y en las barras de frijol-avena.

Cuadro 18. Cuantificación de oligosacáridos en barras de frijol (*P. vulgaris*) y avena (*A. sativa*)

| Formulación | Rafinosa (mg/g muestra) | Estaquiosa (mg/g muestra) | Verbascosa (mg/g muestra) |
|-------------|----------------------------|------------------------------|------------------------------|
| FHN | 8.75 ± 0.25 ^a | 30.28 ± 1.31 ^b | ND |
| FHB | 6.23 ± 0.13 ^b | 36.35 ± 1.25 ^a | ND |
| L48 | 7.19 ± 0.26 ^b | 25.17 ± 0.98 ^b | ND |
| L30 | 8.22 ± 0.61 ^a | 25.34 ± 1.45 ^b | ND |
| CONTROL | 0.29 ± 0.04 ^c | 1.35 ± 0.17 ^c | ND |

FHN- Harina de frijol Negro 8025 horneado, FHB- Harina de frijol Bayo Madero horneado, L48- Formulación con 23.4% de harina de frijol y 16.9% de harina de avena, L30- Formulación con 24.6% de harina de frijol y 18.9% de harina de avena, CONTROL- Formulación sin inclusión de harina de frijol y 43% de harina de avena. ND- Los valores de este compuesto estuvieron por debajo del límite de detección

Los resultados representan la media de tres experimentos independientes ± el error estándar. Diferentes letras en la misma columna expresan diferencias significativas $\alpha=0.05$ en la prueba de Tukey.

La concentración de rafinosa en las muestras de harina de frijol difiere entre sí estadísticamente, siendo de 6.23 ± 0.13 mg/g para frijol bayo y 8.75 ± 0.25 mg/g para el negro. De igual manera, los valores de estaquiosa varían entre las harinas de frijol, se observó que en el frijol bayo es de 36.35 ± 1.25 mg/g mientras que en frijol negro es menor, de 30.28 ± 1.31 mg/g. Este componente fue el más abundante tanto en las harinas de frijol, como en las barras. No se detectó el oligosacárido verbascosa en ninguna de las muestras. Los resultados encontrados en este estudio están ligeramente por debajo de lo reportado por Díaz-Batalla *et al.* (2006), quien informó contenidos para rafinosa, estaquiosa y verbascosa de 10.6 mg/g, 56.3 mg/g y 3.8 mg/g, respectivamente en frijol Negro 8025 cocido. Otros autores han informado concentraciones menores en el intervalo de 0.69 a 1.39 mg rafinosa/g y 2.74 a 4.45 mg estaquiosa/ g para diferentes cultivares de *P. vulgaris* (Da Silva *et al.*, 2006)

Respecto a la harina de frijol Bayo Madero, que fue utilizada en las dos formulaciones de mayor preferencia, se encontró que hubo una disminución significativa en la concentración de rafinosa en la formulación L30. Esta misma tendencia se observó en la concentración de estaquiosa de las formulaciones L30 y L48 respecto a la harina de frijol bayo. Mientras que en las

barras control el contenido de oligosacáridos fue muy inferior a los valores de las barras de frijol-avena.

A pesar de la disminución en el contenido de oligosacáridos, se puede sugerir que el producto terminado es una buena fuente de estos compuestos, debido a que está dentro del intervalo reportado para algunas variedades de frijol común. La preservación de oligosacáridos es importante por su potencial como prebiótico. Algunas de las propiedades que se han asociado con estos compuestos son comportamiento similar a la fibra dietética y la estimulación selectiva del crecimiento de bacterias benéficas en el tracto gastrointestinal, produciendo ácidos grasos de cadena corta como el ácido acético, propionico y butírico implicados en la reducción del riesgo a desarrollar enfermedades crónico-degenerativas. A nivel tecnológico es de interés su estabilidad a altas temperaturas y varios valores de pH, su capacidad humectante y/o para controlar humedad, así como su capacidad para aumentar viscosidad y el punto criogénico de diversos alimentos (Collins y Rastall, 2008)

6.12. Cuantificación de compuestos fenólicos de las barras frijol-avena

En el Cuadro 19 se muestran los resultados de flavonoides totales y taninos condensados de las barras de frijol-avena.

Cuadro 19. Determinación de flavonoides totales y taninos condensados de barras de frijol (*P. vulgaris*) y avena (*A. sativa*)

| Formulación | Flavonoides totales (mg eq. rutina/g muestra) | Taninos condensados (mg eq. (+)-catequina/g muestra) |
|-------------|--|---|
| L30 | 5.64 ± 0.51 ^a | 8.937 ± 0.11 ^a |
| L48 | 4.31 ± 0.09 ^b | 8.473 ± 0.10 ^{a,b} |
| CONTROL | 3.75 ± 0.04 ^{b, c} | 7.25 ± 0.16 ^b |

L48- Formulación con 23.4% de harina de frijol y 16.9% de harina de avena, L30- Formulación con 24.6% de harina de frijol y 18.9% de harina de avena, CONTROL- Formulación sin inclusión de harina de frijol y 43% de harina de avena.

Los resultados representan la media de tres experimentos independientes ± el error estándar. Diferentes letras en la misma columna expresan diferencias significativas $\alpha=0.05$ en la prueba de Tukey.

Se observa que el valor más alto de flavonoides los presenta la formulación L30 siendo significativamente mayor que en L48. Entre esta última barra y el control no se encontraron diferencias estadísticas, aun cuando se ve un ligero aumento en la barra de frijol. El contenido más alto de flavonoides en L30 puede explicarse principalmente a la mayor cantidad de frijol que se incluyó en la formulación. Es notorio que la concentración de estos compuestos se incrementó respecto a la harina de frijol, pasando de 2.39 ± 0.09 en la harina de frijol bayo horneada a 4.31 ± 0.09 a 5.64 ± 0.51 mg eq. rutina/g muestra para las barras. Dicho incremento puede deberse a que además del frijol, se utilizaron ingredientes cuyo contenido de compuestos fenólicos ha sido bien documentado, como es el caso de cebolla, tomate, orégano, comino, ajo y mucílago de linaza. En el Cuadro 20 se presenta una lista de las especias usadas en la formulación de las barras y de los contenidos de flavonoides totales de cada una.

Cuadro 20. Contenido de flavonoides totales en muestras de ingredientes utilizados en las barras de frijol y avena

| Muestra | Flavonoides totales (mg /100 g muestra) |
|---|--|
| Cebolla (<i>Allium cepa</i>) ^a | 6.40 ± 0.7 |
| Tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) ^a | 6.12 ± 0.61 |
| Orégano (<i>Origanum vulgare</i>) ^a | 361.0 ± 31 |
| Comino (<i>Cuminum cyminum</i>) ^a | 740.0 ± 76 |
| Ajo (<i>Allium sativum</i>) ^a | 12.4 ± 1.09 |
| Mucílago linaza ^b | 35.0 – 71.0 |

^a Ninfali *et al.* (2005)

^b Oomah *et al.* (1996b)

Por tanto, es posible que los niveles de flavonoides de las especias empleadas en la formulación, contribuyeran al aumento de compuestos fenólicos del producto terminado.

Cabe destacar que el tratamiento térmico también pudo influir en el aumento en la concentración de estos fitoquímicos. Otros autores han informado el aumento de flavonoides en muestras de frijol tostado (Siddhuraju y Becker, 2001; Boateng *et al.*, 2008). Se sugiere que durante el calentamiento seco la degradación celular o de ciertos fenólicos insolubles mejoran la extractabilidad de estos compuestos (Siddhuraju y Becker, 2001).

En cuanto a taninos condensados, los resultados varían en el intervalo de 7.25 ± 0.16 a 8.93 ± 0.11 mg eq. (+)-catequina/g muestra, siendo la formulación L30 la que obtuvo los contenidos más altos. Cabe mencionar que estos valores se encuentran por arriba de lo encontrado para la harina de frijol bayo (5.86 ± 0.07 mg eq. (+)-catequina/g muestra), lo cual, de igual manera que en el caso de flavonoides, puede atribuirse a la adición de ciertos ingredientes con cantidades significativas de compuestos fenólicos.

Hasta la fecha no se ha encontrado información de cuantificación de compuestos fenólicos en algún producto comparable a la barra de frijol-avena, por lo que sería el primer reporte del contenido de flavonoides totales y taninos condensados en un alimento de este tipo.

Dado que la formulación L30 obtuvo los valores más altos de compuestos fenólicos, los análisis posteriores se realizaron únicamente para esta muestra.

6.13. Capacidad antioxidante

6.13.1. Capacidad antioxidante por el método DPPH

Los resultados obtenidos en la determinación de capacidad antioxidante por dos métodos diferentes se muestran en el Cuadro 21.

Cuadro 21. Capacidad antioxidante de harinas de frijol, avena y barras de frijol-avena

| Formulación | DPPH | | ABTS | |
|-------------|---|---------------------------------|---|-------------------------------|
| | TEAC ² (μ moles equivalentes trolox/g muestra) | ARA ³ (%) | TEAC ² (μ moles equivalentes trolox/g muestra) | ARA ³ (%) |
| FCN | 4.30 \pm 0.16 ^{c,d} | 15.04 \pm 0.43 ^{c,d} | 9.05 \pm 0.07 ^b | 34.78 \pm 0.28 ^b |
| FCCN | 4.32 \pm 0.18 ^{c,d} | 15.11 \pm 0.48 ^{c,d} | 11.88 \pm 0.34 ^a | 45.15 \pm 1.26 ^a |
| FHN | 5.82 \pm 0.18 ^{a,b} | 19.08 \pm 0.49 ^{a,b} | 11.46 \pm 0.14 ^a | 43.60 \pm 0.30 ^a |
| FCB | 4.47 \pm 0.24 ^c | 15.49 \pm 0.65 ^c | 9.64 \pm 0.28 ^b | 36.96 \pm 1.03 ^b |
| FCCB | 4.20 \pm 0.24 ^{c,d} | 14.77 \pm 0.64 ^{c,d} | 9.75 \pm 0.17 ^b | 37.34 \pm 0.65 ^b |
| FHB | 5.65 \pm 0.15 ^{a,b} | 18.65 \pm 0.42 ^{a,b} | 10.06 \pm 0.49 ^b | 38.49 \pm 1.80 ^b |
| AV | 3.42 \pm 0.10 ^d | 12.70 \pm 0.27 ^d | 2.30 \pm 0.09 ^d | 10.07 \pm 0.33 ^d |
| L30 | 6.17 \pm 0.21 ^a | 20.03 \pm 0.56 ^a | 9.54 \pm 0.13 ^b | 36.59 \pm 0.49 ^b |
| L48 | 4.96 \pm 0.19 ^{b,c} | 16.81 \pm 0.51 ^{b,c} | 9.46 \pm 0.15 ^b | 36.28 \pm 0.56 ^b |
| CONTROL | 4.64 \pm 0.10 ^c | 15.94 \pm 0.28 ^c | 7.36 \pm 0.21 ^c | 28.62 \pm 0.78 ^c |

FCN- Frijol Negro 8025 crudo, FCB- Frijol Bayo Madero crudo, FCCN- Harina de frijol Negro 8025 cocido y liofilizado, FCCB- Harina de frijol Bayo Madero cocido y liofilizado, FHN- Harina de frijol Negro 8025 horneado, FHB- Harina de frijol Bayo Madero horneado, AV- Harina de avena comercial.

L48- Formulación con 23.4% de harina de frijol y 16.9% de harina de avena, L30- Formulación con 24.6% de harina de frijol y 18.9% de harina de avena, CONTROL- Formulación sin inclusión de harina de frijol y 43% de harina de avena.

¹ El ensayo se llevó a cabo utilizando los extractos metanólicos de cada una de las muestras.

² Capacidad antioxidante expresada como equivalentes de trolox.

³ Capacidad antirradical calculada como porcentaje de inhibición del radical DPPH.

Los resultados representan la media de tres experimentos independientes \pm el error estándar. Diferentes letras en la misma columna expresan diferencias significativas $\alpha=0.05$ en la prueba de Tukey.

Los valores TEAC (capacidad antioxidante expresada como μ moles equivalentes trolox/g muestra) para las harinas de frijol Negro 8025 y Bayo Madero tanto crudo como cocido fueron de 4.20 a 4.47 y no presentaron diferencias estadísticas entre sí. Al compararlas con las harinas horneadas de ambas variedades de *P. vulgaris*, sí se observaron dichas diferencias. Las muestras

sometidas a horneado tuvieron valores ARA mayores que el resto de los tratamientos, siendo de 5.82 ± 0.18 para la harina de la variedad negra y 5.65 ± 0.15 para Bayo Madero.

Estos resultados están dentro del intervalo que se ha informado en diferentes estudios. Aunque es importante mencionar que existe gran variación en los reportes de capacidad antioxidante de frijol común. Por ejemplo, Xu y Chang (2008) reportaron valores TEAC de 15.58 ± 0.8 en frijol negro cocido (100 min a ebullición) cv. Turtle Eclipse y de 18.95 ± 0.03 $\mu\text{moles eq. trolox/g}$ muestra para la semilla cruda.

Diferentes variedades de frijol crudo cultivado en Manitoba, Canadá, fueron evaluadas mediante el ensayo de DPPH. Los resultados encontrados muestran valores TEAC que van de 0.42 a 1.33 para las distintas muestras en estudio (Oomah *et al.*, 2005).

La capacidad antiradical (ARA) de las muestras mostraron exactamente la misma tendencia que la capacidad antioxidante expresada como TEAC, variando en un intervalo de 14.77% a 19.08%. De nuevo, las harinas horneadas obtuvieron los valores más altos (18.65% y 19.08% en harina de frijol bayo y negro, respectivamente). Estos valores de ARA son similares a los reportados por Oomah *et al.* (2005) para frijol común canadiense. En este estudio se muestra actividad antiradical que va de 4.61% a 17.41%.

Los valores más altos, fueron los de las harinas de frijol horneado, siendo de 5.65 y 5.82 $\mu\text{moles equivalentes trolox/g}$ muestra. Estos resultados coinciden con el aumento en compuestos fenólicos que se observó en el frijol horneado en comparación con los otros tratamientos (crudo y cocido). Comparando el contenido de taninos condensados y flavonoides totales con la capacidad antioxidante, se encontró una correlación positiva de 0.83 y 0.63, respectivamente ($p < 0.05$), datos que sugieren que son estos compuestos los que proporcionan dicha capacidad. Siddhuraju y Becker (2001) y Boateng *et al.* (2008) reportaron un incremento de compuestos fenólicos en frijol sometido a calentamiento seco. De acuerdo a Duenas *et al.* (2005) Siddhujaru (2006) la estabilidad de flavonoides y otros polifenoles durante el calentamiento puede deberse a la formación de compuestos de maillard como el hidroximetilfurfuraldehído (HMF) el cual produce una alta capacidad antioxidante.

A pesar de que diversos autores han mostrado que la cocción tradicional o a presión de los granos disminuye notablemente la capacidad antioxidante (Jiratanan y Liu, 2004; Aparicio-Fernández *et al.*, 2005; Xu y Chang, 2008;), en el presente estudio no se observaron cambios en las muestras cocidas. En este punto, es necesario recalcar que por lo general estos estudios separan el agua de cocción y las semillas para realizar las pruebas. Rocha-Guzmán *et al.*, 2007 analizaron la

capacidad antioxidante de diferentes variedades de frijol mexicana cocinadas a presión. Los autores observaron que a tiempos de cocción largos, los compuestos fenólicos de la testa de frijol (los cuales han demostrado estar estrechamente relacionados con la capacidad antioxidante) migraban al caldo de cocción y de ahí a los cotiledones. También se vio que el agua de cocción presentaba valores similares de capacidad antiradical a la testa de frijol crudo. Este fenómeno, podría explicar en parte los resultados obtenidos en las harinas de frijol cocidas, dado que el largo tiempo de cocción (150 min) podría haber ocasionado la lixiviación de los compuestos fenólicos de la testa al caldo y cotiledones. Una vez ocurrida esta redistribución, todo el conjunto de granos cocidos y agua de cocción fueron analizados tanto para compuestos fenólicos como capacidad antioxidante.

Dada la correlación entre capacidad antioxidante y compuestos fenólicos, podría decirse que efectivamente la redistribución de estos compuestos al agua de cocción y cotiledones, podrían estar contribuyendo a la capacidad antioxidante similar al frijol crudo, en el cual básicamente es la testa la que aporta en su mayoría dicha capacidad.

Por otra parte, la avena fue la que tuvo los valores más bajos en este ensayo (3.42 ± 0.10 μ moles equivalentes trolox/g muestra), coincidiendo también con los bajos valores de flavonoides totales y taninos condensados en comparación con el frijol. Existen diversos estudios sobre capacidad antioxidante de avena, sin embargo, hasta el momento no se ha encontrado ninguno en hojuelas de avena que puedan ser comparables al ensayo utilizado en el presente trabajo.

Por su parte, las barras de frijol-avena, mostraron valores similares a las harinas de frijol crudo y cocido, a excepción de la formulación L30 (6.17 ± 0.21 expresados como TEAC) que obtuvo el resultado más alto, comparable al de las harinas de frijol horneado. La muestra L30 mostró ser también la que mayor concentración de taninos condensados y flavonoides tuvo en comparación con las otras barras. La razón principal del aumento en capacidad antioxidante se podría atribuir a la inclusión más alta de frijol (mayor contenido de compuestos fenólicos), además de un tratamiento térmico adicional, que podría haber incrementado la formación de compuestos de maillard y mejorado la extracción de compuestos fenólicos. Basados en lo anterior, los resultados sugieren que las propiedades antioxidantes se conservan adecuadamente en el producto final, siendo la formulación L30 la que tuvo mejores propiedades nutraceuticas.

6.13.2. Capacidad antioxidante por el método ABTS

La capacidad antioxidante medida por el método ABTS (Cuadro 21) no mostró diferencias significativas entre los tratamientos a los que se sometieron las muestras de frijol, a excepción de la variedad negra cruda, que tuvo valores de TEAC menores al cocido y horneado. Entre variedades sí se vio una variación estadística, siendo menor para Bayo Madero. En esta ocasión, las formulaciones L30 y L48 fueron similares a la harina de frijol bayo horneado, pero ligeramente menores que la de negro horneado.

Existe poca información de capacidad antioxidante por el método de ABTS para frijol, la mayoría de los estudios hace referencia al método de DPPH. Por ejemplo, Akillioglu y Karakaya (2010) analizaron la capacidad antioxidante de diferentes variedades de *P. vulgaris* consumido tradicionalmente en Turquía, encontrando valores de inhibición (ARA) en frijol sometido a cuatro tratamientos diferentes (remojo, cocción, adición de NaHCO_3 y después de digerirse *in vitro*) mayores por la técnica de ABTS en comparación con DPPH. Wolosiak *et al.* (2010) observaron la misma variabilidad en ambos ensayos al analizar habas, los resultados que obtuvieron por la técnica de ABTS fueron más altos que aquellos obtenidos por DPPH en extractos acuosos y de acetona (167 y 264, 98 y 5 $\mu\text{moles eq. trolox/g}$ muestra para ABTS y DPPH respectivamente).

Las diferencias entre los dos métodos para determinar la capacidad antioxidante de las muestras se deben principalmente al mecanismo de acción del radical utilizado en cada uno. El ensayo de DPPH se basa en la teoría de que un compuesto donador de hidrógenos se considera un antioxidante (Moon y Shibamoto, 2009). En la Figura 14 se muestra la reacción entre DPPH^\bullet y un antioxidante. El radical DPPH^\bullet actúa como receptor de átomos de hidrógeno del antioxidante pasando a su forma reducida DPPH.

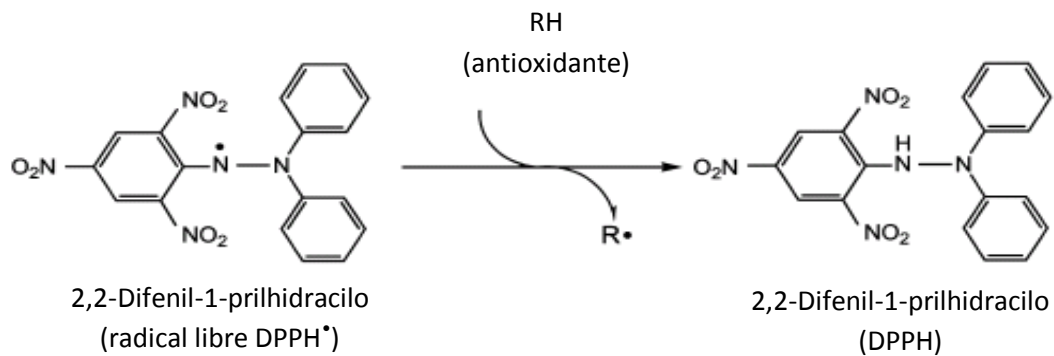


Figura 14. Reacción entre DPPH[•] y un antioxidante para formar DPPH.

(Moon y Shibamoto, 2009)

La técnica de ABTS implica un paso previo al análisis de la muestra para formar el radical, el cual se produce mediante la oxidación de ABTS con persulfato de potasio ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$) mediante la reacción que se presenta en la Figura 15. El nuevo radical formado $\text{ABTS}^{\bullet+}$ se reduce en presencia de un antioxidante mediante transferencia de electrones (Pannala *et al.*, 2001) o protones (Rice-Evans *et al.*, 1996), incluso a través del intercambio de ambos (Tyrakowska *et al.*, 1999).

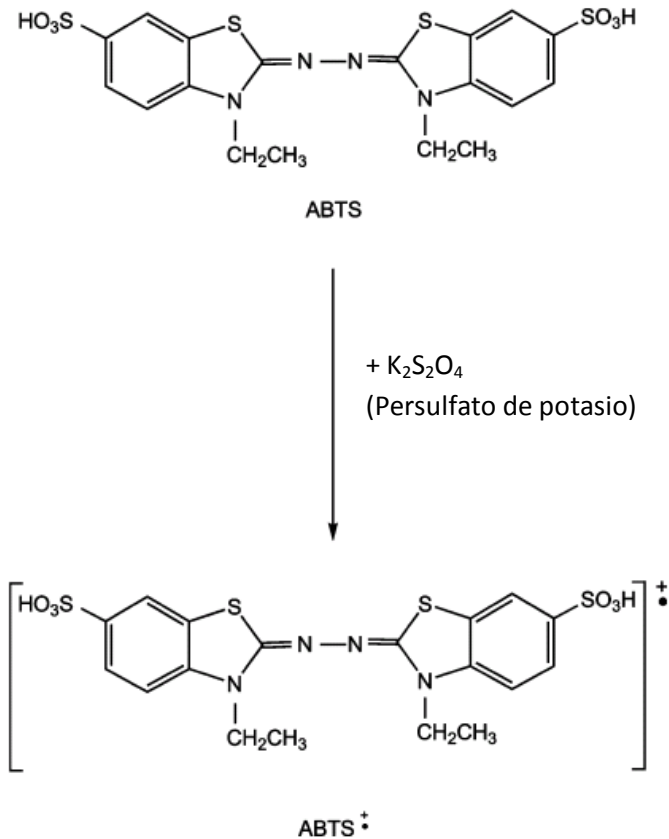


Figura 15. Formación del radical estable ABTS^{•+} a partir de ABTS con persulfato de potasio.

(Moon y Shibamoto, 2009)

Por la misma naturaleza del radical, ABTS tiende a ser menos estable que DPPH, puesto que debe prepararse en el preciso momento de usarlo. Además, reacciona más rápidamente con los antioxidantes, típicamente dentro de los primeros 30 minutos (Prior *et al.*, 2005). Esto podría ser una de las razones de la variación mostrada entre ensayos, en donde ABTS exhibió los valores más altos.

La discrepancia en la tendencia mostrada en la capacidad antioxidante por ambos métodos, también puede deberse a que ABTS^{•+} reacciona con cualquier compuesto aromático hidroxilado, independientemente de su potencial antioxidante real (Roginsky *et al.*, 2005)38). Por otra parte, el DPPH es más selectivo, razón por la que no reacciona con los flavonoides carentes de grupos hidroxilo en el anillo B, ni con ácidos aromáticos que contengan un solo grupo hidroxilo (Roginsky *et al.*, 2005), dando valores más bajos que el otro método.

6.14. Pruebas de textura

6.14.1. Prueba de corte o cizalla

Los parámetros que se obtuvieron como resultado de la prueba de corte fueron la fuerza de fractura inicial (Kg), fuerza máxima de fractura (Kg), distancia de fractura (mm) y rigidez (Kg/m). Los resultados se muestran en el Cuadro 22.

Cuadro 22. Valores de los parámetros obtenidos en la prueba de corte de las barras de frijol y avena

| Formulación | Fuerza máxima de fractura (Kg) | Distancia máxima de fractura (mm) | Rigidez ¹ (Kg/m) |
|-------------|--------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| L30 | 3.41 ± 0.57 ^b | 3.77 ± 0.25 ^b | 934.44 ± 196.6 ^a |
| L30AM1 | 7.61 ± 1.12 ^a | 3.47 ± 0.32 ^b | 2262.81 ± 384.76 ^b |
| L30AC1 | 2.71 ± 0.36 ^b | 2.97 ± 0.16 ^b | 939.33 ± 172.19 ^b |
| CONTROL | 4.03 ± 0.66 ^b | 4.17 ± 0.54 ^b | 1097.02 ± 347.36 ^{a,b} |
| COMERCIAL | 7.53 ± 0.52 ^a | 5.95 ± 0.26 ^a | 1284.67 ± 150.74 ^{a,b} |

L30- Formulación con 24.6% de harina de frijol y 18.9% de harina de avena, L30AM1- A la formulación L30 se le adicionó 0.5% de almidón de maíz modificado alto en amilosa, L30AC1- Formulación L30 adicionada con el 0.5% de almidón de maíz acetilado, CONTROL- Formulación sin inclusión de harina de frijol y 43% de harina de avena, COMERCIAL- All-Bran linaza integral de Kellogg's.

¹ La rigidez fue calculada dividiendo la fuerza máxima de fractura entre la distancia máxima de fractura. Los resultados representan la media de tres experimentos independientes ± el error estándar. Diferentes letras en la misma columna expresan diferencias significativas $\alpha=0.05$ en la prueba de Tukey.

Con el fin de mejorar las propiedades texturales del producto, se adicionaron dos tipos de almidón modificado a la formulación L30. El primero fue un almidón de maíz alto en amilosa y el segundo un almidón de maíz acetilado.

Se puede observar que existen diferencias significativas entre la fuerza máxima de fractura de las barras L30, L30AC1 y CONTROL respecto a L30AM1 y la barra comercial de linaza. Los valores más altos de fuerza corresponden a estas dos últimas formulaciones. Este parámetro se ha asociado con la dureza del alimento (Vincent, 1998; Castro *et al.*, 2004), mientras mayor es la fuerza, mayor la dureza. Por lo anterior, se puede deducir que los productos más duros son la barra comercial y la formulación adicionada con almidón alto en amilosa.

Precisamente la mayor concentración de amilosa se ha asociado a productos más duros. En la elaboración de botanas extrudidas, la adición de amilosa o almidones ricos en este compuesto da como resultados productos más firmes y crujientes, pero más compactos. De igual

forma en el procesado de galletas de arroz, las harinas de almidón de arroz altas en amilosa se prefieren para elaborar galletas más pesadas debido a la rápida retrogradación de este compuesto, formando una estructura firme (Bank y Lusas, 2000).

La distancia de fractura representa el punto en donde la muestra se rompe en su totalidad. La barra comercial fue la única diferente estadísticamente en este parámetro, siendo de 5.95 ± 0.26 mm. Sin embargo, esta diferencia se puede atribuir a que la barra de linaza es más gruesa (7mm) que cualquiera de las formulaciones restantes (5 mm).

La rigidez es un parámetro derivado que puede obtenerse de la curva de fuerza-deformación. El módulo de rigidez se define como el cociente entre el esfuerzo de cizallamiento y la correspondiente deformación elástica (Castro y De Hombre, 2007).

Se encontraron diferencias estadísticas entre la formulación L30 y sus análogos adicionados con almidón modificado. El producto que presentó mayor rigidez fue la formulación L30AM1 con un valor de 2262.81 ± 384.76 Kg/m, seguido de la barra comercial con 1284.67 ± 150.74 Kg/m. Nuevamente, se observa que la muestra L30AM1 tiene como ingrediente almidón alto en amilosa, el cual conlleva al proceso de retrogradación (info de amilosa y retrogradación). Visualmente, se aprecia que estas dos formulaciones son más densas que el resto. Vincent (1998) afirma que la rigidez depende tanto de las características de los materiales o ingredientes que conforman al alimento, así como de efectos estructurales, tales como grosor del producto, densidad o presencia de burbujas y la forma.

En un estudio llevado a cabo sobre galletas tipo cracker fermentadas y sin fermentar, se observó que la rigidez obtenida de una prueba de corte en celda Kramer era dependiente tanto de estructura interna de la galleta, como del tiempo (Castro *et al.*, 2004). Los autores encontraron que la rigidez fue mayor en las galletas sin fermentar y lo atribuyeron a su estructura más compacta y resistente, en cambio la galleta fermentada por el mismo proceso de fermentación posee una estructura más débil. Al medir el mismo parámetro textural a lo largo de 28 días de almacenamiento, se observó que la rigidez aumentaba, principalmente por el proceso de retrogradación del almidón.

Castro y Álvarez (2002), realizaron ensayos de corte o cizalla a dos marcas queso mantecoso chileno, con una cuchilla Warner-Bratzler en un ángulo de corte de 50° . En el caso de rigidez, se trató de establecer una relación con fragilidad medida sensorialmente, pero la correlación fue baja.

Aún cuando la rigidez es una característica que se relaciona con algunas propiedades mecánicas para necesidades de diseño, es un concepto que todavía no ha sido bien establecido (Castro y De Hombre, 2007).

La crujibilidad de los alimentos es un atributo de textura deseable en botanas y barras alimenticias. Vincent (1998) describe un método simple para medir la crujencia de los alimentos. El autor señala que este atributo está relacionado con la cantidad de picos de fractura de mayor tamaño que aparecen en la curva de deformación. Después del pico inicial de fractura o fuerza inicial de fractura, que corresponde a la primera mordida, los microeventos que se presentan determinan la crujencia o fragilidad del material. Según este estudio, un número mayor de eventos de fractura están asociados a una textura crujiente, sin embargo, dichas fracturas deben ser lo suficientemente grandes para evitar tener un producto propenso al desmoronamiento, pero suficientemente pequeñas para evitar convertirse en un producto muy duro. De acuerdo a Heidenreich *et al.* (2004), la crujencia se percibe como una serie de sensaciones táctiles, auditivas y visuales, además representa la característica clave en el diseño de botanas. En el caso de que el número de picos se aproxime a cero, indica que el producto es poco crujiente (Mazumder *et al.*, 2007)

En la Figura 16 se muestran las gráficas de fuerza-deformación para las diferentes muestras en estudio.

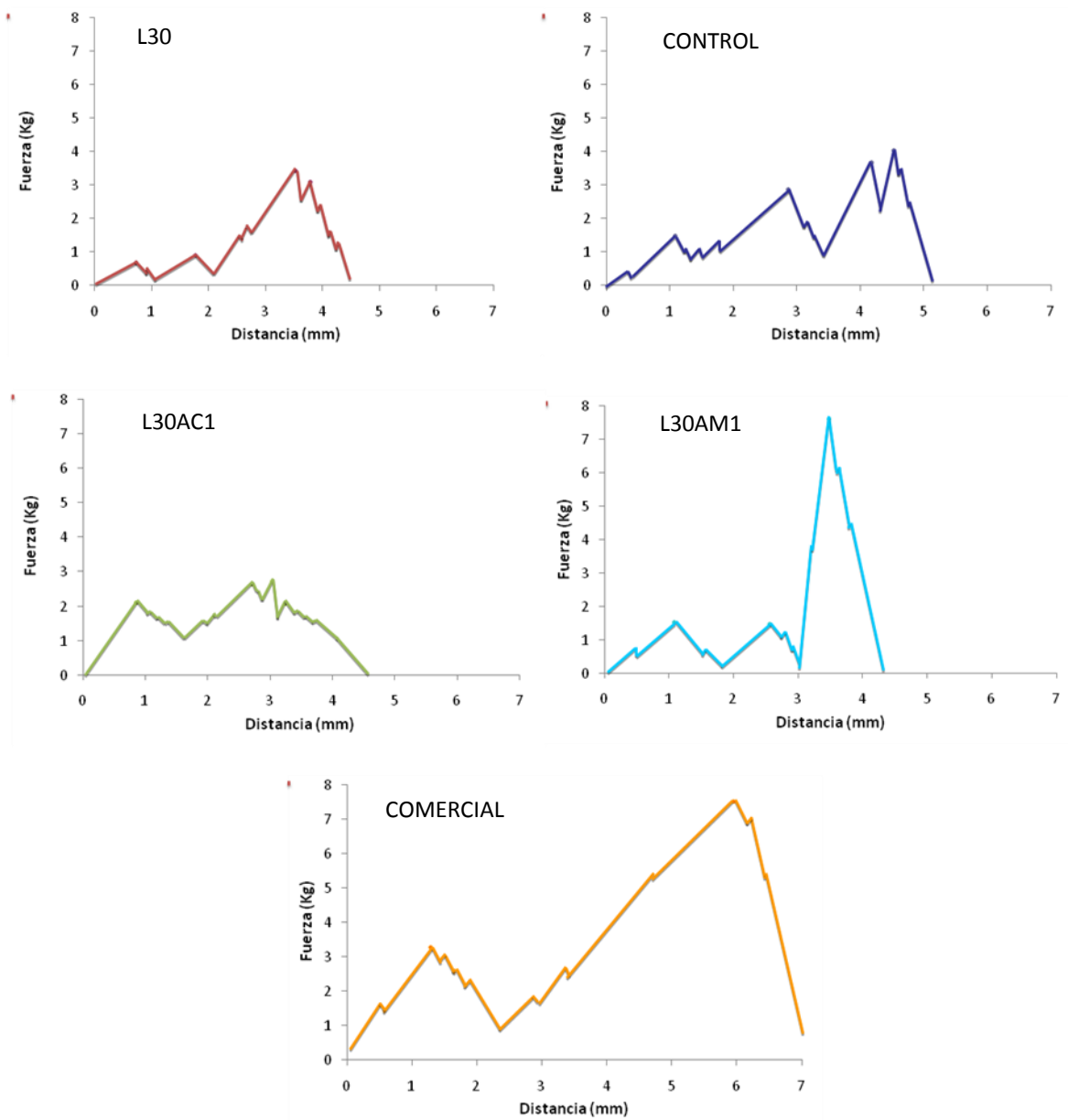


Figura 16. Curva fuerza-deformación de las barras de frijol-avena de la prueba de corte

L30- Formulación con 24.6% de harina de frijol y 18.9% de harina de avena, L30AM1- A la formulación L30 se le adicionó 0.5% de almidón de maíz modificado alto en amilosa, L30AC1- Formulación L30 adicionada con el 0.5% de almidón de maíz acetilado, CONTROL- Formulación sin inclusión de harina de frijol y 43% de harina de avena, COMERCIAL- All-Bran linaza integral de Kellogg's.

En general, se observó que el número de picos de todas las formulaciones en estudio fue mayor que la barra comercial. En la prueba de corte, la barra comercial sólo presentó un pico bien definido, contrario a esto, las formulaciones L30, L30AC1 y CONTROL generaron en promedio 4 picos mayores, siendo ésta última la que tuvo los picos más definidos. La formulación L30AM1 presentó sólo 3 picos mayores. De lo anterior se puede sugerir que los productos más crujientes fueron L30, L30AC1 y CONTROL.

A lo largo del experimento se pudo apreciar que la variación entre formulaciones fue muy grande, lo cual se ve reflejado en el error estándar. La presencia de burbujas de aire al interior de la barra provoca irregularidades en la superficie del producto. Las bolsas de aire producen una distorsión en la lectura del instrumento debido a que la fuerza que oponen altera la pendiente de la curva en su parte ascendente, produciendo la aparición de picos máximos que pueden producir un error en la interpretación de la curva (Faridi, 1994). Por su parte, Vincent (1998) menciona que estos espacios vacíos pueden actuar deteniendo la fractura, cambiando la forma y extensión de la misma en la curva de deformación.

En resumen, las formulaciones con la mayor dureza fueron la barra comercial All-Bran linaza integral y la formulación L30AM1 con almidón modificado alto en amilosa. Por el contrario las muestras L30, L30AC1 y CONTROL, que presentaron la menor dureza fueron las más crujientes. Para el consumidor de productos horneados la textura es un factor decisivo en la aceptación de un nuevo desarrollo tecnológico. Es así que las formulaciones que presentaron menor dureza y mayor crujencia tienen mayor oportunidad de ser aceptados en el mercado.

6.14.2. Prueba de tres puntos

Los resultados obtenidos de la prueba de tres puntos se muestran en el Cuadro 23. En esta ocasión se presentan la fuerza inicial de fractura, distancia inicial y rigidez, debido a que en la curva de deformación se encontró solamente un pico mayor definido para todas las muestras. Por tanto, cada uno de los parámetros iniciales corresponde también a los valores máximos.

Cuadro 23. Valores de los parámetros obtenidos en la prueba de tres puntos de las barras de frijol y avena

| Formulación | Fuerza inicial de fractura (Kg) | Distancia inicial de fractura (mm) | Rigidez ¹ (Kg/m) |
|-------------|---------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| L30 | 0.467 ± 0.10 ^b | 0.515 ± 0.01 ^{a,b} | 888.04 ± 162.33 ^a |
| L30AM1 | 0.343 ± 0.14 ^b | 0.393 ± 0.07 ^b | 810.15 ± 237.65 ^a |
| L30AC1 | 0.524 ± 0.17 ^{a,b} | 0.425 ± 0.08 ^b | 1152.98 ± 168.34 ^a |
| CONTROL | 0.534 ± 0.09 ^{a,b} | 0.414 ± 0.08 ^b | 1334.07 ± 149.6 ^a |
| COMERCIAL | 1.154 ± 0.22 ^a | 0.869 ± 0.12 ^a | 1302.29 ± 125.12 ^a |

L30- Formulación con 24.6% de harina de frijol y 18.9% de harina de avena, L30AM1- A la formulación L30 se le adicionó 0.5% de almidón de maíz modificado alto en amilosa, L30AC1- Formulación L30 adicionada con el 0.5% de almidón de maíz acetilado, CONTROL- Formulación sin inclusión de harina de frijol y 43% de harina de avena, COMERCIAL- All-Bran linaza integral de Kellogg's.

¹ La rigidez fue calculada dividiendo la fuerza inicial de fractura entre la distancia inicial de fractura. Los resultados representan la media de tres experimentos independientes ± el error estándar. Diferentes letras en la misma columna expresan diferencias significativas $\alpha=0.05$ en la prueba de Tukey.

Las formulaciones L30 y L30AM1 fueron diferentes estadísticamente a la barra comercial en cuanto a dureza. Se puede ver que la muestra más dura es la comercial con 1.154 ± 0.22 Kg, resultado que coincide con lo encontrado en la prueba de corte. También se observa que la fuerza requerida para fracturar la muestra es menor a la registrada en la prueba de corte. Las diferencias entre métodos pueden atribuirse al tipo de fuerza aplicada en cada caso y al área de contacto. En la prueba de tres puntos una fuerza aplicada en un área de contacto reducida provoca una deformación o deflexión en el centro (Steffe, 1996; Castro y De Hombre, 2007). Por otro lado, la prueba de corte ejerce una fuerza cortante (tangencial) paralela en distintos puntos del alimento (Castro *et al.*, 2004), siendo más representativa del movimiento de penetración de los dientes incisivos en la muestra (Kim *et al.*, 2009).

En el parámetro rigidez, no se encontraron diferencias significativas entre ninguna de las formulaciones. Posiblemente la gran variabilidad en las lecturas influyó directamente en este resultado. Castro *et al.* (2004) observó una tendencia similar en la prueba de tres puntos aplicada a galletas cracker fermentadas y sin fermentar. Los autores definieron esta prueba como un método de alta variabilidad de resultados y poca precisión. Aún así, se ha usado esta técnica ampliamente para medir las propiedades de textura de productos laminados como las barras alimenticias (Bourne, 2002).

En la Figura 17 se presentan las gráficas de fuerza-deformación para cada una de las barras.

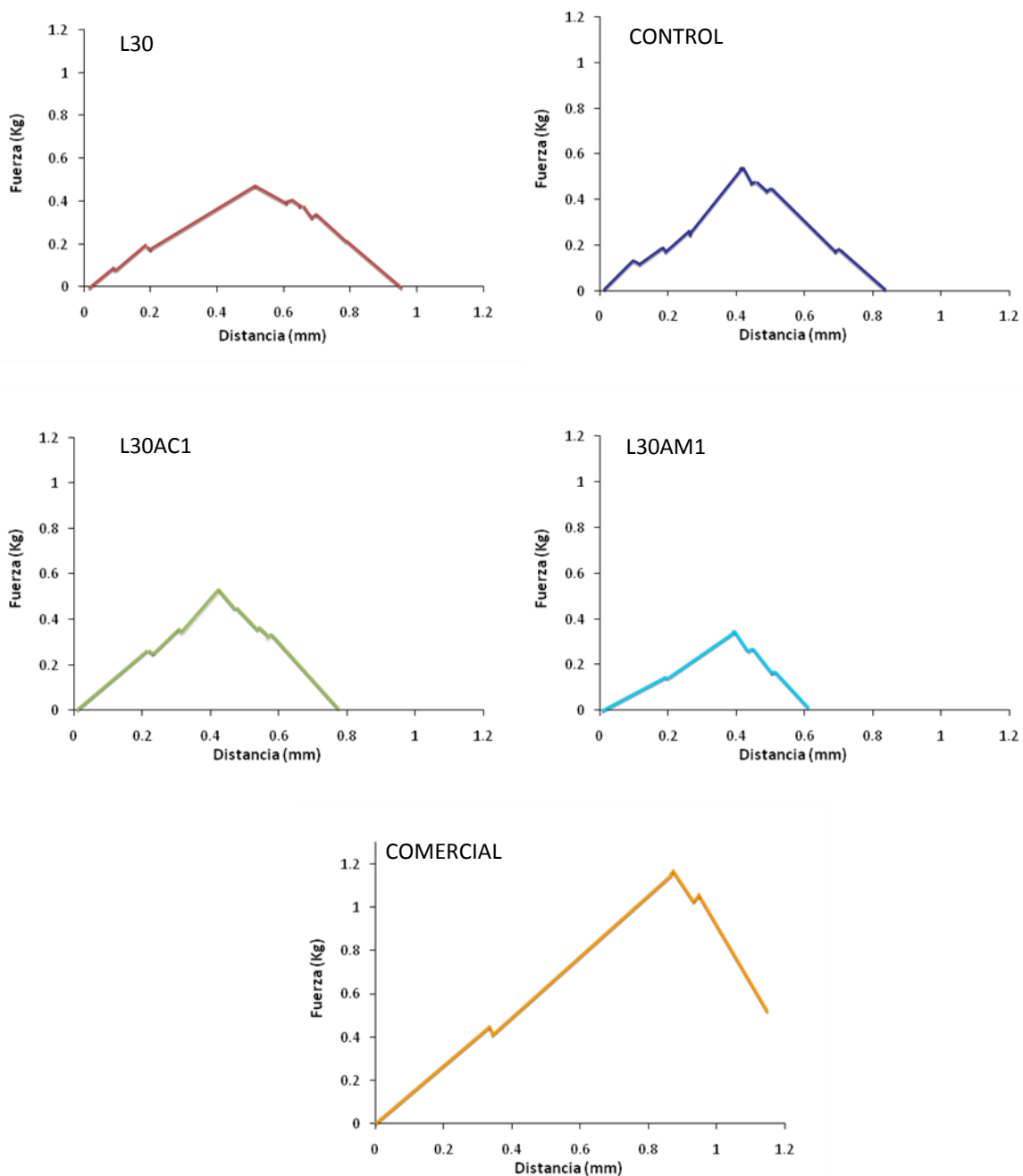


Figura 17. Curva fuerza-deformación de las barras de frijol-avena de la prueba de tres puntos

L30- Formulación con 24.6% de harina de frijol y 18.9% de harina de avena, L30AM1- A la formulación L30 se le adicionó 0.5% de almidón de maíz modificado alto en amilosa, L30AC1- Formulación L30 adicionada con el 0.5% de almidón de maíz acetilado, CONTROL- Formulación sin inclusión de harina de frijol y 43% de harina de avena, COMERCIAL- All-Bran linaza integral de Kellogg's.

En este tipo de ensayos un factor importante es el grosor de la barra. Algunos alimentos quebradizos se caracterizan por una textura rígida, no flexible que se rompe repentinamente una vez que la fuerza de fractura ha sido alcanzada (Bourne, 2002). Lo anterior podría explicar la presencia de un solo pico y sugeriría que las barras de frijol-avena pueden ser clasificadas como quebradizas, pues presentan la característica de romperse rápidamente, sin dar oportunidad a la aparición de microeventos de fractura como sucedía en la prueba de corte.

6.14.3. Prueba de punción

Los resultados obtenidos de la prueba de punción de las barras de frijol-avena se presentan en el Cuadro 24.

Cuadro 24. Valores de los parámetros obtenidos en la prueba de punción de las barras de frijol y avena.

| Formulación | Fuerza máxima de fractura (Kg) | Distancia máxima de fractura (mm) | Rigidez ¹ (Kg/m) |
|-------------|--------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| L30 | 0.710 ± 0.08 ^c | 0.610 ± 0.13 ^b | 1342.87 ± 291.53 ^{a,b} |
| L30AM1 | 1.636 ± 0.18 ^b | 2.859 ± 0.67 ^a | 712.98 ± 200.19 ^b |
| L30AC1 | 1.580 ± 0.14 ^b | 2.338 ± 0.73 ^{a,b} | 999.88 ± 351.45 ^{a,b} |
| CONTROL | 1.317 ± 0.22 ^{b,c} | 1.109 ± 0.41 ^{a,b} | 1494.24 ± 386.91 ^{a,b} |
| COMERCIAL | 3.271 ± 0.13 ^a | 1.535 ± 0.28 ^{a,b} | 2336.43 ± 387.65 ^a |

L30- Formulación con 24.6% de harina de frijol y 18.9% de harina de avena, L30AM1- A la formulación L30 se le adicionó 0.5% de almidón de maíz modificado alto en amilosa, L30AC1- Formulación L30 adicionada con el 0.5% de almidón de maíz acetilado, CONTROL- Formulación sin inclusión de harina de frijol y 43% de harina de avena, COMERCIAL- All-Bran linaza integral de Kellogg's.

¹ La rigidez fue calculada dividiendo la fuerza máxima de fractura entre la distancia máxima de fractura. Los resultados representan la media de tres experimentos independientes ± el error estándar. Diferentes letras en la misma columna expresan diferencias significativas $\alpha=0.05$ en la prueba de Tukey.

La fuerza de fractura de la barra comercial fue diferente estadísticamente de las demás formulaciones, con un valor de 3.271 ± 0.13 Kg lo cual corresponde a la dureza más alta en este ensayo. La siguiente en magnitud fue la formulación L30AM1 con 1.636 ± 0.18 Kg, que también presentó diferencias con L30AC1 y L30. Nuevamente se encontró la misma tendencia que en el método de corte.

La distancia máxima de fractura fue la característica que tuvo mayor variabilidad a lo largo de la prueba de punción, en comparación con los ensayos de corte y tres puntos. Precisamente

por este comportamiento, sólo se vieron diferencias estadísticas entre la formulación L30 y L30AM1. Para esta misma prueba Castro *et al.* (2004) observaron que los coeficientes de variabilidad reflejaban una baja precisión del método y una alta dispersión de los datos.

En cuanto a rigidez, las únicas muestras que difirieron entre sí fueron L30AM1 y la barra comercial con valores de 712.98 ± 200.19 y 2336.43 ± 387.65 . Estos valores corresponden al más bajo y alto respectivamente. Contrario a la tendencia que se presentó en las otras dos pruebas, en el ensayo de punción L30AM1 obtuvo un valor bajo de rigidez, mientras que la barra comercial, el valor más alto.

En la Figura 18 se muestran las gráficas de fuerza-deformación de las barras de frijol y avena correspondientes al ensayo de punción.

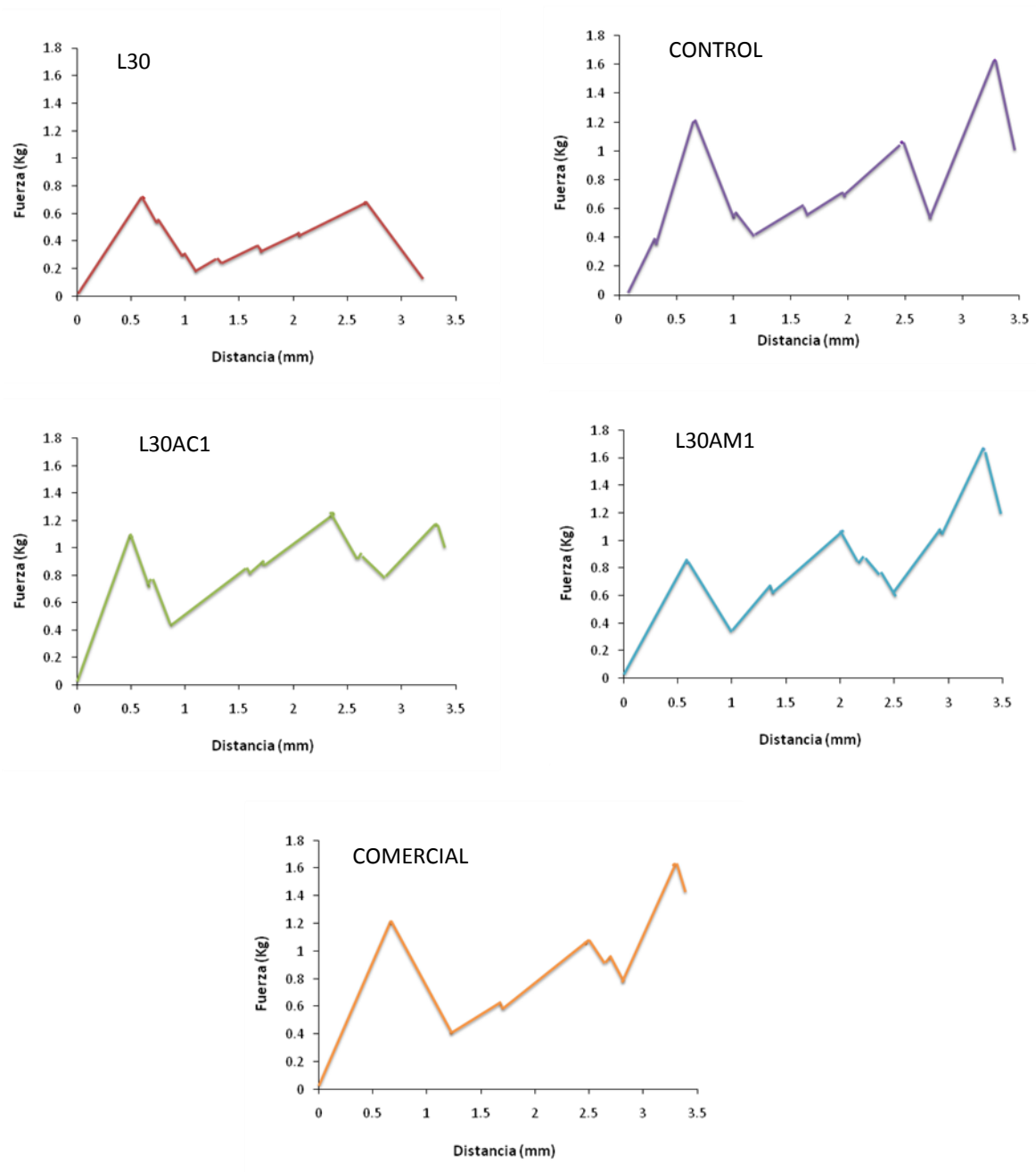


Figura 18. Curva fuerza-deformación de las barras de frijol-avena de la prueba de punción

L30- Formulación con 24.6% de harina de frijol y 18.9% de harina de avena, L30AM1- A la formulación L30 se le adicionó 0.5% de almidón de maíz modificado alto en amilosa, L30AC1- Formulación L30 adicionada con el 0.5% de almidón de maíz acetilado, CONTROL- Formulación sin inclusión de harina de frijol y 43% de harina de avena, COMERCIAL- All-Bran linaza integral de Kellogg's.

Por este método, el número de picos mayores registrados fue menor que en el de corte, encontrándose de 2 a 3 picos en las muestras. La única excepción fue la barra comercial que sólo presentó un pico definido de manera similar que en ensayo de cizalla. En esta ocasión las formulaciones L30AC1, L30AM1 y CONTROL mostraron 3 picos mayores, por tal motivo, se puede deducir que fueron los productos más crujientes.

Haciendo una síntesis de los resultados del estudio de textura, se pudo comprobar que el método más acertado fue el de corte puesto que presentó la menor dispersión de los datos en general. En cambio, la prueba de tres puntos fue la que dio resultados menos contundentes al tener la mayor variabilidad en todos los parámetros.

Las barras comercial y L30AM1 resultaron ser las más duras y rígidas. En el caso de la formulación con almidón alto en amilosa, se atribuye la dureza precisamente a esta fracción del almidón, puesto que es la responsable de la retrogradación de los alimentos. La crujibilidad de las formulaciones fue consistentemente mayor para L30AC1 y CONTROL.

6.15. Estudios de vida de anaquel

La actividad de agua (a_w) se ha utilizado de manera limitada como un indicador de la vida de los alimentos durante el almacenamiento, sobre todo de aquellos de baja humedad (Belitz *et al.*, 2009). Se sabe que la actividad acuosa de un alimento indica su tendencia para absorber o perder humedad dependiendo de la humedad relativa del medio. Cualquier cambio en este parámetro durante el almacenamiento del producto conlleva a cambios que afectan la calidad y propiedades sensoriales (Eskin y Robinson, 2001). De ahí la importancia de conocer a profundidad las características de las barras de frijol-avena, para predecir de la manera más adecuada su comportamiento durante el almacenamiento.

Especialmente en alimentos de baja humedad (barras alimentarias, galletas, crackers) la ganancia de humedad es determinante para la pérdida de crujencia, lo cual es rápidamente detectado por el consumidor, teniendo implicaciones negativas (Manley, 2000). Además, un incremento en la adsorción de agua puede llevar al deterioro microbiano.

La isoterma de sorción es una herramienta que provee información relevante sobre la estabilidad en el almacenamiento, además de que permite predecir la vida de anaquel de un producto mediante la relación humedad-actividad de agua a una temperatura dada (Al-Muhtaseb *et al.*, 2004; Ayranci and Duman, 2004).

Las isotermas de adsorción realizadas en un rango de actividad acuosa de 0.2 a 0.8 a 25, 35 y 45° C para la formulación L30 y CONTROL se muestran en la Figura 19 y 20 respectivamente.

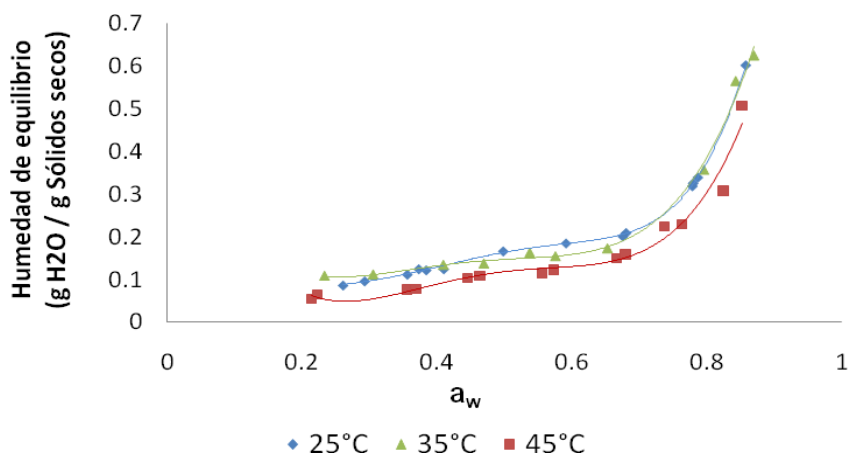


Figura 19. Isotherma de adsorción de agua de barras de frijol-avena, formulación L30 a 45°C
L30- Formulación con 24.6% de harina de frijol y 18.9% de harina de avena

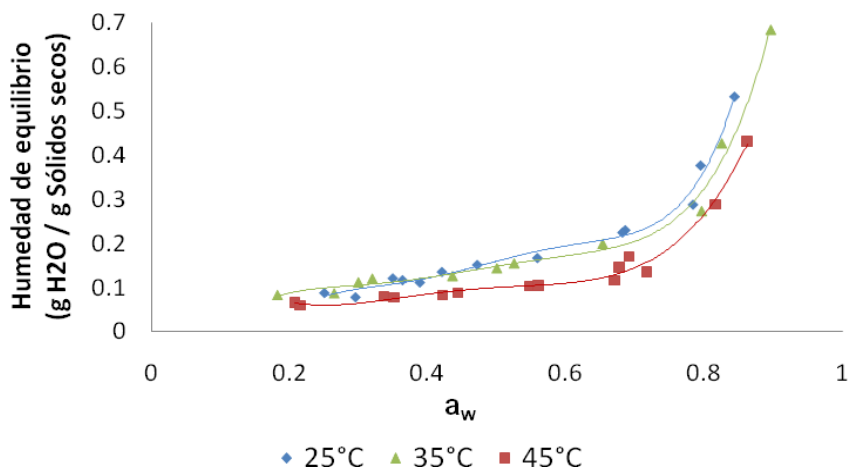


Figura 20. Isotherma de adsorción de agua de la formulación control a 45°C
CONTROL- Formulación sin inclusión de harina de frijol y 43% de harina de avena

Generalmente, los productos alimentarios exhiben una isoterma de forma sigmoideal correspondiente al tipo II y IV de acuerdo a la clasificación de Brunauer. Sin embargo, las barras estudiadas presentaron la forma tipo III. Este tipo de curva, también se presenta en frutas, productos de repostería y extractos de café, que contienen grandes cantidades de azúcar y otras moléculas solubles pequeñas (Fennema et al., 2007).

Se observó un efecto significativo ($p < 0.05$) del factor temperatura sobre la humedad de equilibrio (g H₂O/ g sólidos secos) del producto, pero no sobre a_w . Como se aprecia en las Figuras 19 y 20, para una misma actividad acuosa, la humedad va incrementándose con la temperatura. Estos resultados están de acuerdo con lo reportado por diversos autores (Eskin y Robinson, 2001;; Barreiro *et al.*, 2003; Rohvein *et al.*, 2004; Siripatrawan y Jantawat, 2006).

El valor de monocapa se define como la capa de agua más fuertemente ligada a la matriz del alimento y por tanto menos móvil. Se asocia con los grupos polares accesibles mediante interacciones agua-ion o agua-dipolo, no se congela a -40°C, carece de capacidad solvente y no está suficiente en cantidad suficiente para ejercer un efecto plastificante sobre el sólido (Fenemma *et al.*, 2007). Este valor puede calcularse mediante diversos modelos, entre los cuales, el modelo de BET es el más utilizado. En la Figura 21 se muestra la ecuación correspondiente a este modelo.

$$\frac{a_w}{(1 - a_w)M} = \frac{1}{Mm_oC} + \frac{(C - 1)}{Mm_oC} a_w$$

Figura 21. Ecuación del modelo BET

a_w : actividad de agua, M: humedad de equilibrio (g H₂O/g sólido seco), C: constante de BET, m_o = valor de monocapa.

El valor de monocapa (m_o) calculado por el método de BET para la formulación L30 fue 0.084, 0.050 y 0.041 g H₂O/ g sólido seco a 25°C, 35°C y 45°C, mientras que el de la formulación control fue de 0.085, 0.077 y 0.059 g H₂O/ g sólido seco. Siripatrawan y Jantawat (2006) reportaron valores similares para galletas de arroz “Jasmine” en el intervalo de 0.047 a 0.053 g H₂O/ g sólido seco por el método de BET.

Los datos muestran una tendencia a disminuir m_o cuando la temperatura aumenta. Este fenómeno puede deberse a la reducción en el número de sitios activos, provocados por cambios físicos y químicos inducidos por la temperatura (McMinn y Magee, 2003). Determinar el valor de

monocapa es de gran interés en la formulación de un nuevo producto, debido a que por debajo de él las reacciones microbianas y pérdida de calidad son prácticamente inexistentes (Bell y Labuza, 2000). Por lo tanto, mientras más lejano se encuentre la a_w del alimento de m_o , habrá mayores posibilidades de que ocurran este tipo de alteraciones.

Una de las desventajas de utilizar la ecuación BET, es que sólo se ajusta adecuadamente a los datos en el intervalo de a_w de 0.1 a 0.5. Sin embargo, la actividad acuosa de la formulación L30 sin someterse a ningún tipo de tratamiento fue de 0.219 ± 0.002 , mientras que el de la formulación control fue de 0.239 ± 0.003 a 25°C , razón por la que se puede considerar válido el uso de esta metodología para obtener el valor de monocapa.

Sólo con fines comparativos, se construyó la isoterma de porción de una barra comercial (All-Bran linaza integral de Kellogg's). Los resultados se muestran en la Figura 22.

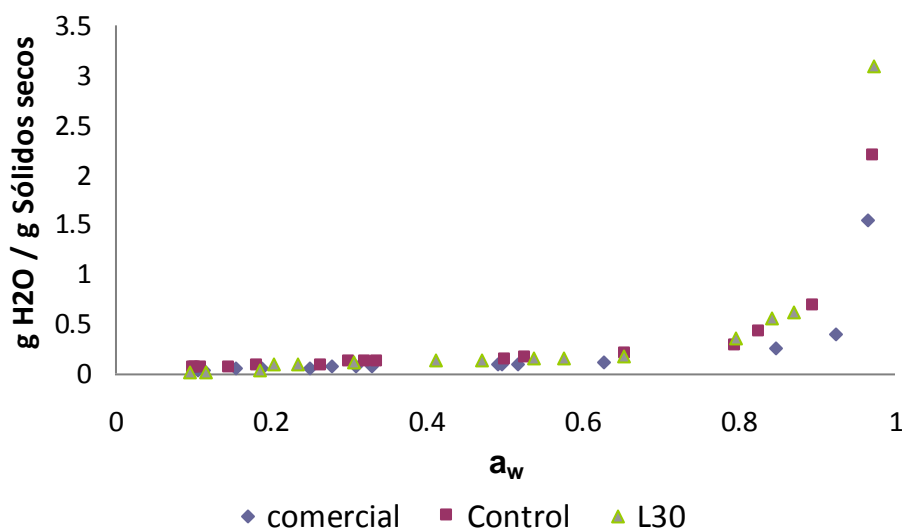


Figura 22. Isotherma de adsorción de barras de frijol y avena a 45°C en comparación con una barra comercial.

L30- Formulación con 24.6% de harina de frijol y 18.9% de harina de avena, CONTROL- Formulación sin inclusión de harina de frijol y 43% de harina de avena, COMERCIAL- All-Bran linaza integral de Kellogg's.

Como se puede apreciar, el comportamiento de todas las muestras es muy similar a actividades acuosas bajas. La diferencia se hace mayor a altas actividades acuosas. A partir de una a_w de 0.8, las barras L30 y CONTROL tienen un mayor contenido de humedad a una misma actividad de agua. Esto puede deberse a la presencia de ingredientes más higroscópicos en las barras en estudio. Durante el análisis del índice de adsorción de agua (IAA), se vio que el frijol y la

avena tienen un IAA mayor que el trigo, el cual es el componente principal de las barras comerciales, lo cual podría estar provocando una mayor retención de humedad. Dicha tendencia coincide con el hecho que a a_w mayores a 0.84 las muestras L30 y CONTROL exhibieron desarrollo de hongos, mientras que la barra a una actividad acuosa de 0.97 ya presentaba el crecimiento microbiano. Aunque también se debe tomar en cuenta que la barra comercial contiene conservadores que previenen o retardan el desarrollo de gérmenes.

Referente a la inocuidad del alimento, es importante destacar que la isoterma de sorción es un indicativo útil de este factor. De acuerdo al mapa de estabilidad de los alimentos, el cual se muestra en la Figura 23, la isoterma se puede clasificar en tres zonas principales, en donde se describe que tipo de reacciones pueden ocurrir.

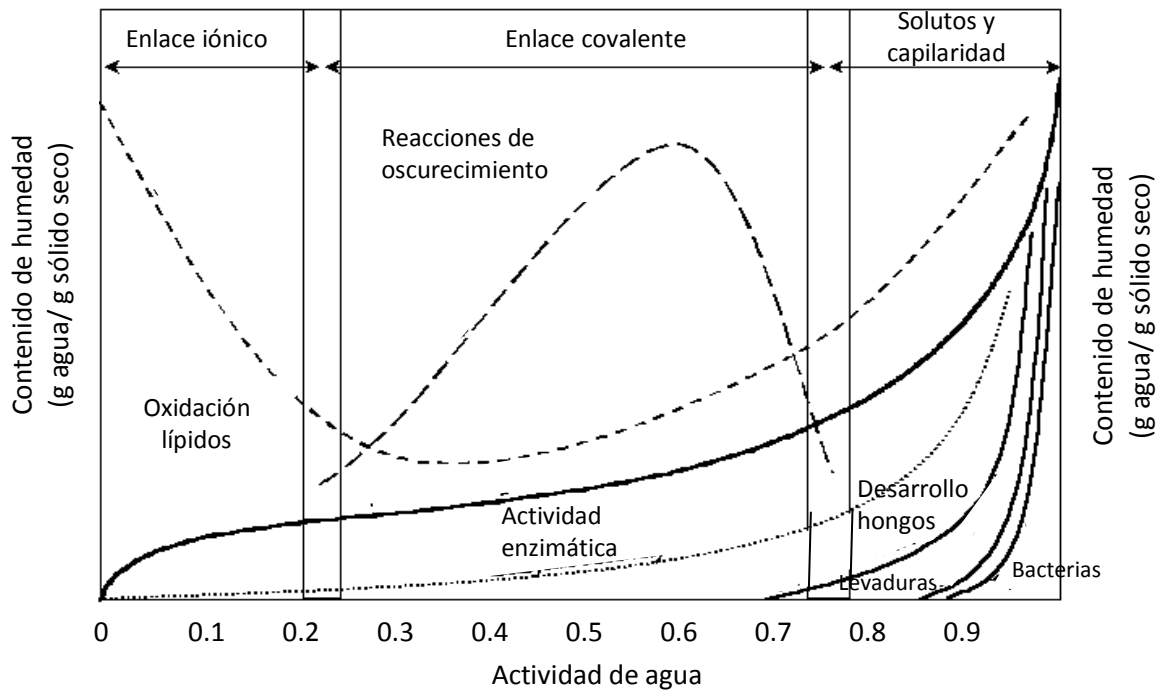


Figura 23. Mapa de estabilidad de los alimentos

Adaptado de Labuza et al. (1970) por Fontana (Decagon Devices Inc)

Las isotermas de adsorción a las diferentes temperaturas nos permiten observar estas regiones. El mapa de estabilidad de los alimentos fue propuesto por primera vez por Labuza *et al.* (1970), quienes también adjuntaron una descripción de las reacciones y características de los alimentos en cada una de ellas. Por ejemplo, en la región II ($0.25 < a_w < 0.75$) en donde se puede ubicar la a_w de la formulación L30 y CONTROL, la estabilidad del alimento es intermedia debido a que prácticamente no existen reacciones degradativas, lo cual es una ventaja al considerar que se trata de un producto de almacenamiento prolongado. Esto puede verse reflejado en la isoterma de cada producto, en donde se observa que en esta región, los cambios en la ganancia de agua son mínimos.

A partir de la región III ($a_w > 0.75$), se incrementa tanto el número como la velocidad de reacciones de degradación. Se puede ver en esta zona un incremento mayor en el porcentaje de humedad, lo cual conlleva al desarrollo de microorganismos como se describe en esta región del mapa.

Se debe considerar el conjunto de la información obtenida hasta este momento al establecer la vida útil del alimento y los materiales de empaque. La temperatura tiene un efecto significativo sobre la a_w y humedad, por lo que es esencial tomar en cuenta este factor al comercializar un producto en diferentes localidades. La humedad relativa del entorno es otro punto a considerar, ya que la pérdida o ganancia de humedad depende de ello. En un ambiente muy húmedo (alta humedad relativa) el producto podría incrementar el contenido de agua, comprometiendo sus propiedades sensoriales e inocuidad.

6.16. Prueba de agrado

La prueba de agrado se aplicó a 96 panelistas no entrenados elegidos al azar, los cuales evaluaron el producto mediante dos escalas diferentes, una hedónica de 9 puntos y una “justo en lo correcto” de 5 puntos.

6.16.1. Escala hedónica

Los resultados de la prueba de agrado se muestran en la Figura 24.

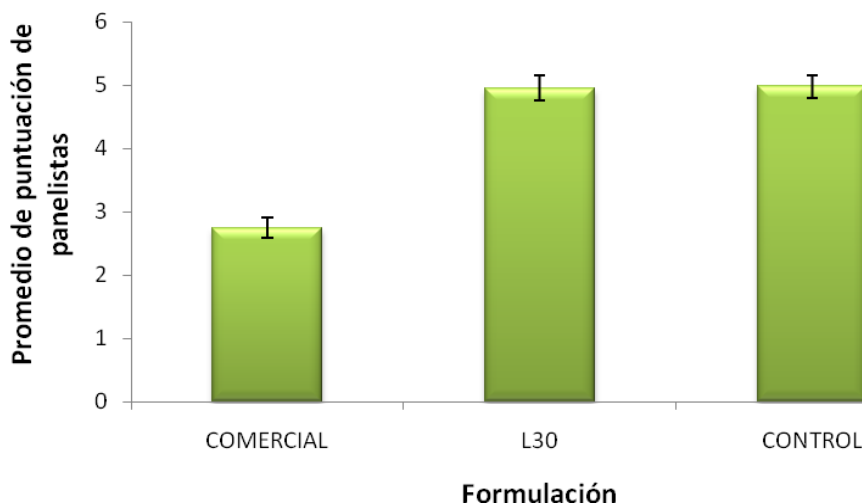


Figura 24. Resultados de la prueba de agrado de las barras de frijol y avena.

L30- Formulación con 24.6% de harina de frijol y 18.9% de harina de avena, CONTROL- Formulación sin inclusión de harina de frijol y 43% de harina de avena, COMERCIAL- All-Bran linaza integral de Kellogg's.

Se graficó el promedio del puntaje asignado a cada formulación y cada punto en la escala representó una categoría diferente. El primer punto en la escala, “1” correspondió a “me agrada extremadamente” mientras que “9” representó “me desagrada extremadamente”

Se observó que la formulación comercial obtuvo el mayor agrado global, clasificándose dentro de la escala de nueve puntos, como “Me agrada moderadamente”. No se encontraron diferencias significativas entre la formulación L30 y CONTROL, las cuales fueron evaluadas como “No me agrada ni me desagrada” en la escala hedónica.

Este comportamiento puede atribuirse parcialmente a la introducción de un producto totalmente novedoso, el cual aporta sabores que no son equiparables a los existentes en el

mercado. Van Trijp y van Kleef (2008), afirman que los seres humanos, particularmente en el área de alimentos, tienden a mostrar una actitud contradictoria hacia lo novedoso. Por un lado se presenta un gusto por lo nuevo (neofilia), pero por otro a evitar todo lo que no sea conocido (neofobia). Se ha propuesto incluso que la creación de nuevos productos, rara vez deben ser radicalmente novedosos, de lo contrario se enfrentarían con un grado alto de resistencia por parte de los consumidores (Steenkamp y Gielens, 2003).

Por lo general, los consumidores evalúan un producto en términos de los modelos mentales y hábitos que tienen (Calantone et al., 2006), mismos que deben ser alterados para aceptar un alimento diferente. Esta disrupción puede promoverse haciendo énfasis en las propiedades o beneficios que aporta a la salud la barra de frijol y avena. Diversos autores han demostrado que las propiedades de un producto y el beneficio percibido por parte del mercado, son determinantes en su aceptación (Magnusson y Hursti, 2002; Brown y Ping, 2003; Frewer *et al.*, 2003).

Es necesario entonces promover los beneficios funcionales y nutracéuticos de las barras de frijol y avena para ganar terreno en el ámbito de la aceptación sensorial. Sin embargo, también se requiere una mejora en el sabor del producto.

6.16.1. Escala “justo en lo correcto”

Los atributos evaluados durante esta prueba estuvieron relacionados con dureza y sabor de las barras. Se compararon estas características con un producto comercial, desafortunadamente, no se encontró ninguno que pudiera ser equiparable a este producto. La barra comercial que se venía manejando es dulce, por lo que al momento de evaluar el sabor existiría un sesgo importante en la prueba. Se decidió utilizar una galleta tipo “cracker” de verduras, con sabor salado de la marca comercial Breton.

Los resultados de la prueba de agrado utilizando la escala “justo en lo correcto” o escala JAR se muestran en la Figura 25.



Escala JAR

■ COMERCIAL ■ L30 ■ CONTROL



Escala JAR

■ COMERCIAL ■ L30 ■ CONTROL



Escala JAR

■ COMERCIAL ■ L30 ■ CONTROL



Escala JAR

■ COMERCIAL ■ L30 ■ CONTROL

Figura 25. Resultados prueba de agrado escala JAR

La escala JAR se divide en cinco categorías, en donde el número 3 representa las características sensoriales que el consumidor considera adecuadas para un producto. De esta manera, la categoría “justo en lo correcto” es el punto de referencia para evaluar a las muestras en estudio. De acuerdo a los datos obtenidos durante esta prueba, la galleta comercial obtuvo un mayor porcentaje de participantes que la calificaron como “justo en lo correcto” para todos los atributos.

La formulación L30 fue clasificada como “menos de lo que me gusta” en cuanto a dureza, crujibilidad y contenido de condimento, y como “mucho menos de lo que me gusta en contenido de sal”. La formulación CONTROL, por su parte, se evaluó en la categoría “menos de lo que me gusta” en todos los atributos.

Los hallazgos a lo largo de esta prueba sugieren que es necesario realizar mejoras en la textura y sabor de la barra de frijol y avena. La adición de mejoradores de textura como el almidón de maíz alto en amilosa y el almidón acetilado, podrían ser una alternativa viable.

VII. CONCLUSIONES

La barra de frijol y avena mostró tener un buen contenido nutrimental, comparable con productos que se comercializan en el mercado mexicano. Su contenido de proteína fue superior al de una barra comercial, además de que su contenido de lípidos fue mucho menor. Actualmente, los consumidores prefieren productos reducidos en grasas o calorías que aporten un beneficio adicional.

Dichos beneficios pueden traducirse en una concentración de flavonoides totales, taninos condensados y oligosacáridos equiparables al del frijol común por sí solo. El hecho de que estos compuestos se conserven o se incrementen en el producto final, es de particular importancia, debido a que se han asociado con propiedades de disminución de riesgo de desarrollo de cáncer de colon, enfermedades cardiovasculares y disminución del índice glicémico.

Otro punto a favor fue el contenido de fibra dietética de las barras, el cual también estuvo por arriba de lo declarado en las formulaciones comerciales. Una dieta alta en fibra se ha asociado a un menor riesgo de enfermedades crónicas como enfermedades cardiovasculares y diabetes, además, en poblaciones donde la ingesta es alta, se ha visto una incidencia y mortalidad baja en referencia a carcinogénesis colorectal.

Los parámetros tecnológicos medidos por pruebas físicas, indicaron que la textura de las barras de frijol y avena fue mejor que una barra comercial, sin embargo, al realizar la evaluación sensorial de las mismas, se encontró que el consumidor prefiere las características sensoriales de los productos ya existentes en el mercado.

En base a estos resultados, se puede concluir que a pesar de ser una alternativa nutritiva y con buen potencial nutracéutico, es necesario optimizar el aspecto sensorial de la barra de frijol y avena.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- A.A.P.A. Academia del Área de Plantas Piloto de Alimentos (2004). Introducción a la tecnología de alimentos. Ed. Limusa, 2ª. Ed. Pp: 119-128.
- Abdel-Kader, Z. (1995). Study of some factors affecting water absorption by faba beans during soaking. *Food chem.* 53 (3): 235-238.
- Acevedo, E., Bressani, R. (1989). Ingestión de fibra dietética en los en los países del istmo centroamericano: implicaciones nutrimentales. *Arch Latinoamer Nutr.* 39:392-404.
- Acevedo, E., Velázquez-Coronado, L., Bressani, R. (1994). Changes in dietary fiber content and its composition as affected by processing of black beans (*Phaseolus vulgaris*, Tamazulapa variety). *Plant Foods for Human Nutrition.* 46: 139-145.
- Akillioglu, H.G., Karakaya, S. (2010). Changes in total phenols, total flavonoids, and antioxidant activities of common beans and Pinto beans after soaking, cooking, and in vitro digestion process. *Food Sci. Biotechnol.* 19(3): 633-639.
- Alminger, M., Eklund-Jonsson, C. (2008). Whole-grain cereal products based on a high-fibre barley or oat genotype lower post-prandial glucose and insulin responses in healthy humans. *Eur J Nutr.* 47: 294-300.
- Al-Muhtaseb A.H., McMinn W.A.M., Magee T.R.A. (2004). Water sorption isotherms of starch powders. Part 1: Mathematical description of experimental data. *Journal of Food Engineering*, 61: 297-307.
- Alonso, R., Orue, E., Zabalza, M.J., Grant, G., Marzo, F. (2000). Effect of extrusion cooking on structure and functional properties of pea and kidney bean proteins. *J Sci Food Agric.* 80:397-403.
- Aman, P., Rimsten, L., Andersson, R. (2004). Molecular weight distribution of β -glucan in oat-based foods. *Cereal Chem.* 81: 356-360.
- Anderson, J.W, Chen, W.J.L. (1986). Cholesterol lowering properties of oat products. En: Marquart, L., Slavin, J.L., Fulcher, R.G. (2002). Whole-grain foods in health and disease. American Association of Cereal Chemists, pp 83-115
- Anderson RA, Conway HF, Pfeifer VF, Griffin EL Jr (1969) Roll and extrusion-cooking of grain Sorghum grits. *Cereal Sci Today* 14: 372-375, 381
- AOAC: Association of Official Analytical Chemists (2002). *Official Methods of Analysis*. 17th ed.; Arlington, VA; Métodos: 920.105, 920.39, 925.23, 945.46, 920.85, 991.43
- Aparicio-Fernández, X., Manzo-Bonilla, L., Loarca-Piña, G.F. (2005). Comparison of antimutagenic activity of phenolic compounds in newly harvested and stored common beans *Phaseolus vulgaris* against aflatoxin B₁. *J. Food Sci.* 70 (1): S73-78

- Aparicio-Fernández, X., Reynoso-Camacho, R., Castaño-Tostado, E., García-González, T., González de Mejía, E., Guzmán-Maldonado, H.; Elizondo, G.; Gabra-Yousef, G.; Ann Lila, M.; Loarca-Piña, G. (2008). Antiradical capacity and Induction of apoptosis on HeLa cells by a *Phaseolus vulgaris* extract. *Plant Foods Hum Nutr.* 63: 35-40.
- ASERCA. (1994). Abriendo surcos. *Claridades Agropecuarias* , 14: 1-32.
- ASERCA. (2006). El sector agroalimentario mexicano: evolución, retos y perspectivas. *Claridades Agropecuarias* , 43.
- Ayranci E. and Duman O. (2004). Moisture sorption isotherms of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp) and its protein isolate at 10, 20 and 30 °C. *Journal of Food Engineering* 61: 192–
- Azevedo, L., Gomes, J. S., Gontijo, A., Pavadoni, C., Ribeiro, L., Salvadori, D. (2003). Black bean (*Phaseolus vulgaris* L.) as a protective agent against DNA damage in mice. *Food Chem Tox.* 41: 1671-1676.
- Bank, D., Lusas, E. (2000). Cap VI: Oils and Industrial frying. En: Lusas, E., Rooney, L. Snack foods processing. *CRC Press*, Boca Raton, FL. USA.
- Barampama, Z., Simard, R. (1993). Nutrient composition, protein quality and antinutritional factors of some varieties of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.) grown in Burundi. *Food Chem.* 47: 159-167.
- Barreiro J.A., Fernandez S. and Sandoval A.J. (2003). Water sorption characteristics of six row barley malt (*Hordeum vulgare*). *Lebensmittel-Wissenschaft und- Technologie* 36: 37–42.
- Bazzano, L., He, J., Ogden, L., Loria, C., Vupputuri, S., Myers, L.; Whelton, P.K. (2002). Dietary intake of folate and risk of stroke in US men and women. NHANES. I epidemiological followup study. *Stroke*, 33:1183-1189.
- Behall, K., Scholfield, D., Hallfrisch, J. (2006). Barley [beta]-glucan reduces plasma glucose and insulin responses compared with resistant starch in men. *Nutr Res.* 26: 644-650.
- Bell, L., Labuza, T. (2000). Moisture sorption: Practical aspects of isotherm measurements and use. 2a. ed. *American Association of Cereal Chemists, Inc.* EU. Pp 67-69.
- Beninger, C., Hosfield, G., Bassett, M., Owens, S. (1999). Chemical and morphological expression of the B and Asp seedcoat genes in *Phaseolus vulgaris* L. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 125: 52.58.
- 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.
- Berrios, J., Swanson, E., Cheon, W.A. (1998). Physicochemical characterization of stored black beans. *Food chem.* 47: 371-373.
- Bingham S.A, Day, N.E, Luben, RD. (2003). Dietary fiber in food and protection against colorectal

- cancer in the European Prospective Investigation into Cancer and Nutrition (EPIC): an observational study. *Lancet*, 361:1496-501.
- Boateng, J., Verghese, M., Walker, L.T., Ogutu, S. (2008). Effect of processing on antioxidant contents in selected dry beans (*Phaseolus spp.* L.). *LWT-Food Science and Technology*, 41: 1541-1547.
- Bourne, M. (2002). Food texture and viscosity: concept and measurement. *Food Science and Technology, International Series (Academic Press)*. Segunda edición, pp: 145-147.
- Brand-Williams, W., Cuvelier, M., Berset, C. (1995). Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensm. Wiss. Technol.* 28: 25-30.
- Bratt, K., Sunnerheim, K., Bryngelsson, S., Fagerlund, A., Engman, L., Andersson, R.; Dimberg, L. (2003). Avenanthramides in oats (*Avena sativa* L.) and structure-antioxidant activity relationships. *J. Agric. Food Chem.* 51: 594-600.
- Brown, J.L., Ping, Y.C. (2003). Consumer perception of risk associated with eating genetically engineered soybeans is less in the presence of a perceived consumer benefit. *Journal of the American Dietetic Association*, 103(2): 208-214.
- Brown, M.A., Storlien, L.H., Brown, I.L., Higgins, J.A. (2003). Cooking attenuates the ability of high-amylose meals to reduce plasma insulin concentrations in rats. *British Journal of Nutrition*, 90: 823-827.
- Bryngelsson, S., Dimberg, L., Kamal-Eldin, A. (2002). Effects of commercial processing on levels of antioxidants in oats (*Avena sativa* L.). *J. Agric. Food Chem.* 50: 1890-1896.
- Bryngelsson, S., Ishihara, A., Dimberg, L. (2003). Levels of avenanthramides and activity of hydroxycinnamoyl-CoA: hydroxyanthranilate N-hydroxycinnamoyl transferase (HHT) in steeped of germinated oat samples. *Cereal Chem.* 780: 356-360.
- Burda, S., Oleszek, W. (2001). Antioxidant and antiradical activities of flavonoids. *J. Agric. Food Chem.* 49: 2774-2779.
- Buttriss, J. (2004). Strategies to increase folate/folic acid intake in women: an overview. *Nutr. Bull*, 29: 234-244.
- Calantone, R.J., Chan, K., Cui, A.S. (2006). Decomposing product innovativeness and its effects on new product success. *Journal of Product Innovation Management*, 23: 408-421.
- CANACO (2005). <http://www.ccmexico.com.mx/>

- 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 (1): 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.
- Cardador-Martínez, A., Albores, A. B., Castaño-Tostado, E., Guevara-González, R. S.; Loarca-Piña, G.F. (2006). Relationship Among Antimutagenic, Antioxidant and Enzymatic Activities of Methanolic Extract from common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Plant Foods for Human Nutrition*, 61:151-168.
- Carlson, A., Kaeppler, H.F. (2007). Chapter II.7: Oat. En E. Pua, M. Davey, *Transgenic Crops IV* (págs. 151-160). Springer-Verlag. Berlin Heidelberg: Biotechnology in Agriculture and Forestry.
- Carmona-García, R., Osorio-Díaz, P., Agama-Acevedo, E., Tovar, J., Bello-Pérez, L.A. (2007). Composition and effect of soaking on starch digestibility of *Phaseolus vulgaris* (L.) cv. 'Mayacoba'. *Int. J. Food Sci. Tech.* 42:296–302.
- Carnovale, E., Lintas, C. (1995). Dietary fibre: effect of processing and nutrient interactions. *Eur. J. Clin. Nutr.* 49 (Suppl. 3): S307-S311.
- Carpenter, R.P., Lyon, D.H., Hasdell, T.A. (2000). Análisis sensorial en el desarrollo y control de la calidad de alimentos. Editorial Acribia, S.A. Zaragoza.
- Carvalho, M.A., Figueiro-Ribeiro, R. (2001). Frutanos: Ocorrência, estrutura e utilização, com ênfase em plantas do cerrado brasileiro. pp 77-89.
- Castellanos, J., Guzmán-Maldonado, H., Jiménez, A., Mejía, C., Muñóz-Ramos, J., Acosta-Gallegos, J., J.A., Hoyos, G., López-Salinas, E., González-Eguiarte, D., Salina-Pérez, R., González-Acuña, J., Muñoz-Villalobos, J.A., Fernández-Hernández, P., Cáceres, B. (1997). Preferential habits of consumers of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in México. *Arch. Latinoam. Nutr.* 47: 164-167.
- Castro, E., Álvarez, P. (2002). Evaluación sensorial de textura de quesos mantecosos. *Primer congreso de estudiantes de ciencia y tecnología de alimentos, zona central*. Santiago, Chile. 12-13 de Septiembre. En: Castro, E., De Hombre, R. (2007) Parámetros mecánicos y textura de los alimentos. Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia, La Habana, Cuba. Pp. 28.

- Castro, E., Verdugo, M., Miranda, M., Rodríguez, A., (2004). Determinación de parámetros texturales de galletas. Consultado en línea, 15 de julio 2010. http://mazinger.sisib.uchile.cl/repositorio/ap/ciencias_quimicas_y_farmaceuticas/c20028221225determinacionparametros1.pdf.
- Castro, E., De Hombre, R. (2007) Parámetros mecánicos y textura de los alimentos. *Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia*, La Habana, Cuba. Pp 5-50. Consultado en línea, 15 de julio de 2010. <http://captura.uchile.cl/jspui/bitstream/2250/5108/1/ParamMecTexAlim%27%2707.pdf>
- Collar, C. (2008). Cap. IX: Novel high fibre and whole grain breads. En: Hamaker, B. Technology of functional cereal products. *CRC Press*, Boca Raton, FL. USA. Pp: 184-214
- Collins, M.E., Rastall, R.A. (2008) Cap. 5.3: Oligosaccharides in food and agriculture. En: Fraser-Reid, B., Tatsuta, K., Thiem, J. Glycoscience. *Springer-Verlag Berlin Heidelberg* , pp: 1200-1204.
- Cornell, J. (2002). Experiments with mixtures: design, models and the analysis of mixture data. Wiley-Interscience Publication. 3a. Ed. New York, USA pp: 1-22.
- Cummings, J., MacFarlane, G., Englyst, H. (2001). Prebiotic digestion and fermentation. *Am. J. Clin. Nutr.* 73: 415S-420S.
- Czerwiński, J., Bartnikowska, E., Leontowicz, H., Lange, E., Leontowicz, M., Katrich, E., Trakhtenberg, S., Gorinstein, S. (2000). Oat (*Avena sativa* L.) and amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) meals positively affect plasma lipid profile in rats fed cholesterolcontaining diets. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 15 (2004) 622–629
- Champ, M. (2002). Non-nutrient bioactive substances of pulses. *Br. J. Nutr.* 88(3): 307-319.
- Champ, M., Langkilde, A., Brouns, F., Kettlitz, B., Collet, Y. (2003). Advances in dietary fiber characterization. 2. Consumption, chemistry, physiology and measurement of resistant starch: implication for health and food labeling. *Nutr. Res. Rev.* 16: 143-161.
- Chandalia M., G. A. (2000). Beneficial effects of dietary fiber intake in patients with type 2 Diabetes mellitus. *New Eng. J. Med.* 342(19): 1440-1441.
- Da Silva, F.L., Guimarã, B.M., de Barros, E.G. Moreira M.A., dos Santos-Díaz, L.A., de Almeida, O.M.G., José, I.C, de Rezende, S.T. (2006) Biochemical Composition and Indigestible Oligosaccharides in *Phaseolus vulgaris* L. Seeds. *Plant Seeds Human Nutr.* 61:87-89.
- Darwen, C., John, P. (1989). Localisation of the enzymes of fructan metabolism in vacuoles isolated by a mechanical method from tubers of Jerusalem artichoke. *Pl. Physiol.* 89: 658-663.

- 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.
- Day, A. J., Canada, F. J., Díaz, J. C., Kroon, P. A., McLauchlan, R., Faulds, C. B., Morgan, M. R., Williamson, G. (2000). Dietary flavonoid and isoflavone glycosides are hydrolyzed by the lactase site of lactase phlorizin hydrolase. *FEBS Lett.* 468, 166-170.
- De Almeida-Costa, G.E., da Silva Queiroz-Monici, K., Pissini-Machao, R.S.M.P., Costa de Oliveira, A. (2006). Chemical composition, dietary fiber and resistant starch contents of raw and cooked pea, common bean, chickpea and lentil legumes. *Food Chem.* 94: 327-330.
- De Lumen, O. (1992). Molecular strategies to improve protein quality and reduce flatulence in legumes: a review. *Food Structure*, 11: 33-46.
- De Mejía, E. G., Guzman-Maldonado, S. H., Acosta-Gallegos, J., Reynoso-Camacho, R. R., Pons Hernández, J., González-Chavira, M., Casellanos, J.Z, Casellanos, J.Z; Kelly, J.D. Kelly, J.D. (2003). Effect of cultivar and growing location on the trypsin inhibitors, tannins, and lectins of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) grown in the semiarid highlands of México. *J. Agric.Food Chem.* 51: 5962-5966.
- Decker, E., Beecher, G., Slavin, J., Miller, H., Marquart, L. (2002). Whole grains as a source of antioxidant. *Cereal Foods World*, 47: 370-373.
- Degutyte-Fomins, L., Sontag-Strohm, T., Salovaara, H. (2002). Oat bran fermentation by rye sourdough. *Cereal Chem.* 79: 345-348.
- Del Valle, J.M., Stanley, D.W., Bourne, M.C. (1992). Water absorption and swelling in dry bean seeds. *Journal of food processing and preservation.* 16 (2):75-98.
- Dewanto, V., Wu, X., Adom, K.K., Hailiu, R. (2002). Thermal Processing Enhances the Nutritional Value of Tomatoes by Increasing Total Antioxidant Activity. *J. Agric. Food Chem.* 50: 3010-3014.
- Deshpande, 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., Widholm, 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: 2045-2052.
- Dinelli, G., Aloisio, I., Bonetti, A., Marotti, I., Cifuentes, A. (2007). Compositional changes induced

- by UV-B radiation treatment of common bean and soybean seedlings monitored by capillary electrophoresis with diode array detection. *J. Sep. Sci.*, En: Biotransformation of common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flavonoid glycosides by Bifidobacterium species from human intestinal origin. Marotti, I., Bonetti, A., Biavati, B., Catizone, P., Dinelli, G. *J. Agric. Food Chem.* 55:3913-3919.
- Dixon, R., Xie, D., Sharma, S. (2005). Proanthocyanidins-a final frontier in flavonoid research? *New Phytol.* 165:9-28.
- Dong, M., He, X., Hai Liu, R. (2007). Phytochemicals of black bean seed coats: isolation, structure elucidation, and their antiproliferative and antioxidative activities. *J. Agric. Food Chem.* 55: 6044-6051.
- Dongowski, G., Drzikova, B., Senge, B., Blochwitz, R., Genbhardt, E., Habel, A. (2005). Rheological behaviour of β -glucan preparations from oat products. *Food Chem.* 93: 279-291.
- Duenas, M., Fernandez, D., Hernandez, T., Estrella, I., Munoz, R. (2005). Bioactive phenolic compounds of cowpeas (*Vigna sinensis* L). Modifications by fermentation with natural microflora and with *Lactobacillus plantarum* ATCC 14917. *J. Food Sci. Agr.* 85: 297-304.
- Drago-Serrano, M., López-López, M., Sainz-Espuñes, T. (2006). Componentes bioactivos de alimentos funcionales de origen vegetal. *Revista Mexicana de Ciencias Farmacéuticas*, 37 (004), 58-68.
- Englyst, H., Kigman, S., y Cummings, J. (1992). Classification of nutritionally important starch fractions. *Eur. J. Clin. Nutr.* 46: S33-S50.
- Escobar, B., Estévez, A., Vásquez, M., Castillo, E., Araya, E. (1992). Aporte calórico-proteico de barras tipo snack elaboradas con cereales y maní. *Alimentos*, 17 (3): 5-10.
- Eskin, M., Robinson, D. Food shelf life stability, chemical, biochemical and microbiological changes. *CRC Press*. Pp: 40-53.
- Espín, C., Tomás-Barberán, F. (2005) Cap III: Constituyentes bioactivos no nutricionales de alimentos de origen vegetal y su aplicación en alimentos funcionales. En: *Alimentos Funcionales*. Fundación española para la Ciencia y la Tecnología, pp. 103-153.
- Espinosa-Alonso, L. G., Lygin, A., Widholm, J. M., Valverde, M., Paredes-López, O. (2006). Polyphenols in Wild and weedy Mexican common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *J. Agric. Food Chem.* 54: 4436-4444.
- Estevez, A., Escobar, B., Ugarte, A. (2000). Utilización de cotiledones de algarobo (*Prosopis*

- chilensis* (Mol) Stuntz) en la elaboración de barras de cereales. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 50 (2): 148-151.
- FAOSTAT (2006). *FAO agriculture database*. FAO, Rome. Obtenido de <http://apps.fao.org/>
- Faridi, H. (1994). *The Science of Cookie and Cracker Production*. Springer. New York, EUA, pp. 455 – 495.
- Fennema, O., Damodarán, S., Parkin, S. (2007). *Food chemistry*. CRC Press, CRC Press; 4a ed. Pp-5-30.
- Feregrino-Pérez, A., Berumen, L., García-Alcocer, G., Guevara-González, R., Ramos-Gómez, M., Reynoso-Camacho, R., Acosta-Gallegos, J., Loarca-Piña, G.F. (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.
- Figuerola, F., Muñoz, O., Estévez, A. (2008). La linaza como fuente de compuestos bioactivos para la elaboración de alimentos. *AGRO SUR* 36 (2): 49-58.
- Flores-Domínguez, A. (2002). Potencial Agroindustrial del frijol silvestre (*Phaseolus vulgaris* L.): Composición química. Tesis de licenciatura del Depto de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Autónoma Chapingo. *México* 17-19, 33-36.
- Sloan, A. E. (2009). Consumer Trends: New ways to achieve weight loss. *Food Tech.* 63 (11).
- Fooks, L., Fuller, R., Gibson, G. (1999). Prebiotics, probiotics and human gut microbiology. *Int. Dairy J.* 9: 53-55.
- Fontana, A.J. Decagon Devices, Inc. USA. Accesado 15 de agosto de 2010. <http://www.dqb.fc.ul.pt/cup/44388/2006-07/aw&safety.pdf>
- Frewer, L., Scholderer, J., Lambert, N. (2003). Consumer acceptance of functional foods: issues for the future. *British Food Journal*, 105: 714-731.
- Fukumoto, L., Mazza, G. (2000). Assessing antioxidant and prooxidant activities of phenolics compounds. *J. Agric. Food Chem.* 48: 3597-3604.
- Galati, G., O'Brien, P. (2004). Potential toxicity of flavonoids and other dietary phenolics: significance for their chemopreventive and anticancer properties. *Free Radic. Biol. Med.* 37(3): 287-303.
- Gálvez-Ranilla, L., Genovese, M., Lajolo, F.M. (2007). Polyphenols and antioxidant capacity of seed

- coat and cotyledon from Brazilian and Peruvian Bean Cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.). *J. Agric. Food Chem.* 55: 90-98.
- Gálvez-Ranilla, L., Genovese, M., Lajolo, F.M. (2009). Effect of Different Cooking Conditions on Phenolic Compounds and Antioxidant Capacity of Some Selected Brazilian Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Cultivars. *J. Agric. Food Chem.* 57: 5734–5742.
- Garti, N. (2001). Cap VII: Food emulsifiers and stabilizers. En: Eskin, M., Robinson, D. Food shelf life stability, chemical, biochemical and microbiological changes. *CRC Press*. Pp: 40-53.
- Gates, F. (2007). Role of heat treatment in the processing and quality of oat flakes: Academic dissertation. Department of Food Technology. University of Helsinki. Pp: 33 <https://oa.doria.fi/bitstream/handle/10024/4320/roleofhe.pdf?sequence=2>.
- 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 de Mejía, E., Valadez-Vega, M., Reynoso-Camacho, R., Loarca-Piña, G. (2005). Tannins, trypsin inhibitors and lectin cytotoxicity in Tepary (*Phaseolus acutifolius*) and common (*Phaseolus vulgaris*) beans. *Plant Foods for Human Nutrition*, 60:137-145.
- Gosse, F., Guyot, S., Roussi, S., Lobstein, A., Fischer, B., Seiler, N., Raul, F. (2005). Chemopreventive properties of apple procyanidins on human colon cancer-derived metastatic SW620 cell and in a rat model of colon carcinogenesis. *Carcinogenesis* 26.
- Grandfeldt, Y., Hagander, B., Björk, I. (1995). Metabolic responses to starch in oat and wheat products. On the importance of food structure, incomplete gelatinization or presence of viscous dietary fibre. *Eur. J. Clin. Nutr.* 49: 189-199.
- Granito, M., Champ, M., David, A., Bonnet, C., Guerra, M. (2001). Identification of gas-producing components in different varieties of *Phaseolus vulgaris* by *in vitro* fermentation. *J. Sci. Food Agric.* 81: 1-8.
- Granito, M., Frías, J., Doblado, R., Guerra, M., Champ, M., Vidal-Valverde, C. (2002). Nutricional improvement of beans (*Phaseolus vulgaris*) by natural fermentation. *Eur. Food Res. Technol.* 214: 226-231.
- Granito, M., Torres, A., Guerra, M. (2003). Desarrollo y evaluación de una pasta a base de trigo, maíz, yuca y frijol. *Interciencia.* 28 (7): 372-379.
- Granito, M., Guerra, M., Torres, A., Guinand, J. (2004). Efecto del procesamiento sobre las propiedades funcionales del *Vigna Sinensis*. *Interciencia.* 29(9): 521-526.

- Granito, M., Guinand, J., Pérez, S., Pérez, D., Morros, M. (2008a). Contenido de carbohidratos en variedades autóctonas de *Phaseolus vulgaris* cultivadas en Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 25: 649-664.
- Granito, M., Guinand, J., Pérez, D., Pérez, S. (2009). Valor nutricional y propiedades funcionales de *Phaseolus vulgaris* procesada: un ingrediente potencial para alimentos. *Interciencia*, 34 (1): s/p.
- Grotewold, E. (2005) *The Science of Flavonoids*. Springer, Ohio, USA, pp: 1-47.
- Guzmán-Maldonado, H., Castellanos, J., González de Mejía, E. (1996). Relationship between theoretical and experimentally detected tanning content of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food Chem.* 55: 333-335.
- Guzmán-Maldonado, H., Paredes-López, O. (1998). Functional products of plants indigenous to Latin America: Amaranth, quinoa, common beans and botanicals. En: *Functional Foods - Biochemical and Processing Aspects*, p. 293-328. Mazza, G. (ed.). *Technomic Publishing Co. Lancaster, PA, EUA*.
- Ha, M.A., Jarvis, M.C., Mann, J.I. (2000) A definition of dietary fibre. *Eu.r J Clin. Nutr.* 54: 861-864.
- Hagerman, A., Riedl, K., Jones, A., Sovik, K., Ritchard, N., Hartzfeld, P., Riechel, T.L. (1998). High molecular weight plant polyphenolics (tannins) as biological antioxidants. *J. Agric. Food Chem.* 46: 1887-1892.
- Hall, C., Tulbek, M.C., Xu, Y. (2006). Flaxseed. *Ad. Food Nutr. Res.* 51: 2-99.
- Hangen, L., Bennink, M. (2002). Consumption of black beans and navy beans (*Phaseolus vulgaris*) reduced azoxymethane-induced colon cancer in rats. *Nutr. Cancer*, 44: 60-65.
- Havsteen, B. (2002). The biochemistry and medical significance of the flavonoids. *Pharmacology & therapeutics* 96 (2-3): 67-202.
- Heimler, D., Vignolini, P., Dini, M., Romani, A. (2005). Rapid tests to assess the antioxidant activity of *Phaseolus vulgaris* L. dry beans. *J. Agric. Food Chem.* 53: 3053-3056.
- Heindenreich, S., Jaros, D., Rohm, R, Ziems, A. (2004). Relationship between water activity and crispness of extruded rice crisps. *Journal of Texture Studies.* 35: 621-623.
- Hernot, D., Boileau, T., Bauer, L., Middelbos, I., Murphy, M., Swanson, K.; Fahey Jr., G. (2009). *In*

- in vitro* fermentation profiles, gas production rates, and microbiota modulation as affected by certain fructans, galactooligosaccharides, and polydextrose. *J. Agric. Food Chem.* 57 (4): 1354-1361.
- Higgins, J., Higbee, D., Donahoo, W., Brown, I., Bell, M., Bessesen, D. (2004). Resistant starch consumption promotes lipid oxidation. *Nutrition and Metabolism* 1: 8.
- Hill, M. (2003). Dietary fibre and colon cancer: where do we go from here? *Proc. Nutr. Soc.* 62: 63-5.
- Hsu, W., Vavak, D., Satterlee, L., Millard, G. (1977). A multienzyme technique for estimating protein digestibility. *J. Food Sci.* 42: 1269-1273.
- Huang, D., Rooney, L. (2000). Starches for snack foods. En: Lusas, E., Rooney, L. Snack foods processing. *CRC Press*, Boca Raton, FL. USA.
- Hur, H., Lay, J., Beger, R., Freeman, J., Rafii, F. (2000). Isolation of human intestinal bacteria metabolizing the natural isoflavone glycosides daidzin and genistin. *Arch. Microbiol.* 174: 422-428.
- Industria Alimenticia (2009). http://www.industriaalimenticia.com/Archives_Davinci?article=1102
- Islam, F., Rengifo, J., Redden, R., Basford, K., Beebe, S. (2003). Association between seed coat polyphenolics (tannins) and disease resistance in common bean. *Plant Foods Human Nutr.* 58: 285-297.
- James, S., J.G., M., Gibson, P. (2003). Dietary fibre: a roughage guide. *Intern. Med. J.* 33: 291 - 296.
- Jenkins, D., Wesson, V., Wolever, T., Jenkins, A., Kalmusky, J., Guidici, S., Csima, A. Josse, R., Wong, G. (1988). Wholemeal versus wholegrain breads—proportion of whole or cracked grain and the glycemic response. *Br. Med. J.* 297:958–960.
- Jiratanan, T., Liu, R. (2004). Antioxidant activity of processed table beets (*Beta vulgaris* var, *conditiva*) and green beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *J. Agric. Food Chem.* 52: 2659-2670.
- Khatoon, N., Prakash, J. (2004). Nutritional quality of microwave-cooked and pressure-cooked legumes. *Int. J. Food Sci. and Nutr.* 55: 441-448.
- Kendall, W.C., Emam, A., Agustin, S.A, Jenkins, J.A. (2004). Resistant starches and health. *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, 87(3): 769-774.
- Kerckhoffs, D., Hornstra, G., Mensink, R. (2003). Cholesterol-lowering effect of β -glucan from oat

- bran in mildly hypercholesterolemic subjects may decrease when β -glucan is incorporated into bread and cookies. *Am. J. Clinical Nutr.* 78: 221-227.
- Kim, J. (2004). Antigenotoxic effects of water extract from Korean fermented soybean paste (doen-jang). *J. Food Prot.* 67 (1): 156-161.
- Kirk, R.S., Sawyer, R. (1999). Pearson's composition and analysis of foods. *Addison-Wesley Longman Inc.* 9th Ed., Harlow, England, p: 285
- Koga, T., Meydani, M. (2001). Effect of plasma metabolites of (+)-catechin and quercetin on monocyte adhesion to humanaortic endothelial cells. *Am. J. Clin. Nutr.* 73: 941-948.
- Komen, G. (1987). Trends and future of cereal bars (Resumen). *FSTA*, 19(5): 5M176.
- Kozłowska, H., Arenda, P., Dostálová, A., Pokorný, J. (2001). Nutrition. Pp. 61-88. En: Hedley, C., I. Cunningham, Jones, A. (eds). *Carbohydrates in Grain Legume Seeds*. CABI Publishing, UK.
- Kutos, T., Golog, T., Ka, M., Plestenjak, A. (2003). Dietary fibre content of dry and processed beans. *Food Chem.* 80(2): 231-235.
- Labuza, T.P., Tannenbaum, S.R., Karel, M. (1970). Water content and stability of low moisture and intermediate moisture foods. *Food Technol.* 24: 543-550.
- Linden, G., Lorient, D. (2000). *New ingredients in food processing, biochemistry and agriculture*. CRC Press. Boca Raton, FL, USA. Cap. 13, pp: 1-26.
- Lintas, C., Cappelloni, M., Montalbano, S., Gambelli, L. (1995). Dietary fibre in legumes: effect of processing. *Eur. J. Clin. Nutr.* 49(Suppl. 3): S298-S302.
- Lyly, M., Salmenkallio-Marttila, M., Suortti, T., Autio, K., Poutanen, K., Lahteenmaki, L. (2003). Influence of oat β -glucan preparations on the perception of mouth feel and rheological properties in beverage prototypes. *Cereal Chem.* 80: 536-541.
- Machado, C.M., Nielxen, S. (2008). Impact of the Hard-to-Cook Phenomenon on Phenolic Antioxidants in Dry Beans (*Phaseolus vulgaris*). *J. Agric. Food Chem.* 56: 3102–3110.
- Macdonald, I. (1994). *Carbohydrates*. En M. En: Shils, J. Olson, M. Shike. Pennsylvania: Lea & Febiger: *Modern Nutrition in Health and Disease*.
- Magnusson, M. K., Hursti, U. K. K. (2002). Consumer attitudes towards genetically modified foods. *Appetite*, 39(1): 9-24.

- Manley, D. (2000). Technology of biscuits, crackers and cookies. 3a. ed. CRC Press, Boca Ratón, Fl. EU. Cap. 6, pp 12-23.
- McMinn W.A.M. and Magee T.R.A. (2003). Thermodynamic properties of moisture sorption of potato. *Journal of Food Engineering*, 33: 227–237.
- Manthey, F., Hareland, G., Huseby, D. (1999). Abs: Soluble and insoluble dietary fiber content and composition in oat. *Cereal Chemists*, 76(3): 417-420.
- Marconi, E., Ruggeri, E., Capelloni, M., Leonardi, D., Carnovale, E. (2000). Physicochemical, nutritional and microstructural characteristics of chickpeas (*Cicer arietinum* L.) and common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) following microwave cooking. *J. Agric. Food Chem.* 48: 5986-5994.
- Marchand, L. (2002). Cancer preventive effects of flavonoids: a review. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 56: 296-301.
- Marles, S., Ray, H., Gruber, M. (2003). New perspectives on proanthocyanidin biochemistry and molecular regulation. *Phytochemistry*, 64: 367-383.
- Marquart, L., Slavin, J.L., Fulcher, R.G. (2002). Whole-grain foods in health and disease. *American Association of Cereal Chemists (AACC)*. St. Paul, Mn. USA. Pp 77-90.
- Marotti, I., Bonetti, A., Biavati, B., Catizone, P., Dinelli, G. (2007). Biotransformation of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Flavonoid Glycosides by Bifidobacterium Species from Human Intestinal Origin. *J. Agric. Food Chem.* 55: 3913-3919.
- Martín-Cabrejas, M., Aguilera, Y., Benítez, V., Mollá, E., López-Andréu, F., Esteban, R. (2006). Effect of industrial dehydration on the soluble carbohydrates and dietary fiber fractions in legumes. *J. Agric. Food Chem.*, 54: 7652-7657.
- Martín-Cabrejas, M., Díaz, M., Aguilera, Y., Benítez, V., Mollá, E., Esteban, R. (2008). Influence of germination on the soluble carbohydrates and dietary fibre fractions in non-conventional legumes. *Food Chem.* 107 (3): 1045-1052.
- Martínez-Valverde, I., Periago, M., Ros, G. (2000). Significado nutricional de los compuestos fenólicos en la dieta. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 50 (1).
- Martínez, C., Loarca-Piña, G., Ortíz, G. (2003). Antimutagenic activity of phenolic compounds, oligosaccharides and quinolizidinic alkaloids from *Lupinus campestris* seeds. *Food Addit Contam.* 20 (10): 940-948.

- Mateu de Antonio, X. (2004). *La fibra en la alimentación FARMACIA HOSPITALARIA*. Barcelona, España: Edikamed S.L.
- Mathers, J. (2002). Pulses and carcinogénesis: potencial for prevention of colon, breast and other cancers. *Br. J. Nutr.* 88 (Suppl. 3): 272-279.
- Mazumder, P., Roopaa, B.S., Bhattacharya, S. (2007). Textural attributes of a model snack food at different moisture contents. *Journal of Food Engineering*, 79(2): 511-516.
- Meier, H., Reid, J. (1982). Reserve polysaccharides other than starch in higher plants. En: Frutanos: Ocorrência, estrutura e utilização, com ênfase em plantas do cerrado brasileiro. Carvalho, M.A. Figueiredo-Ribeiro, R. (2001). pp 77-89
- Menne, E., Guggenbuhl, N., Roberfroid, M. (2000). Fn-type chicory inulin hydrolysis has a prebiotic effect in humans. *J. Nutr.* 130: 1197-1199.
- Mira, L., Fernández, T., Santos, M., Rocha, R., Florencio, H., Jennings, K. (2002). Interactions of flavonoids with iron and copper ions: a mechanism for their antioxidant activity. *Free Radic. Res.* 64: 367-383.
- Moon, J., Shibamoto, T. (2009). Antioxidant assays for plant and food components: a review. *J. Agric. Food Chem.* 57: 1655-1666.
- Morito, K., Hirose, T., Kinjo, J., Hirakawa, T., Okawa, M., Nohara, T., Ogawa, S., Inoue, S.,
- Muramatsu, M., Masamune, Y. (2001). Interaction of phytoestrogens with estrogen receptors a and b. *Biol. Pharm. Bull.* , 24: 351-356. En: Chemical components with health implications in wild and cultivated mexican common bean seeds (*Phaseolus vulgaris* L.). 2006. Díaz-Batalla, L., Widholm, J., Fahey, G.; Castaño-Tostado, E., Paredes-López, O. *J. Agric. Food Chem.* 54: 2045-2052.
- Morrissey, B. (2002). Foreword in: *Functional Foods. Vol 2*. Shi, J., Mazza, G., Le Maguer, M. USA: Eds. CRC Press.
- Murphy, P., Hendrich, S. (2002). Phytoestrogens in foods. *Adv. Food Nutr. Res.* , 44: 195-246. En: Chemical components with health implications in wild and cultivated mexican common bean seeds (*Phaseolus vulgaris* L.). 2006. Díaz-Batalla, L., Widholm, J., Fahey, G., Castaño-Tostado, E., Paredes-López, O. *J. Agric. Food Chem.* 54: 2045-2052.
- Murphy, M.M., Douglass, J.S., Birkett A. (2008). Resistant starch intakes in the United States. *Journal of the American Dietetic Association*, 108: 67-78.

- Muzquiz, M., Burbano, C., Pedrosa, M. M., Folkman, W. Y., Gulewicz, K. (1999). Lupin as a potential source of raffinose family oligosaccharides. Preparative method for their isolation and purification. *Industrial Crops and Products*, 9: 183–188.
- Nenadis, N., Wang, L. F., Tsimidou, M., Zhang, H. Y. (2004). Estimation of scavenging activity of phenolic compounds using the ABTS^{•+} assay. *J. Agric. Food Chem.* 52: 4669–4674.
- Nie, L., Wise, M., Peterson, D., Meydani, M. (2005). Avenanthramides, polyphenols from oats, modulate smooth muscle cell (SMC) proliferation and nitric oxide (NO) production. *Free Rad. Biol. Med.* 37: 40.
- Ninfali, P., Mea, G., Samantha, G., Rocchi, M., Bacchioccal, M. (2005). Antioxidant capacity of vegetables, spices and dressings relevant to nutrition. *British Journal of Nutrition*, 93: 257–266.
- Norma Oficial Mexicana NOM-051-SSA1-1994. Especificaciones Generales de Etiquetado para los Alimentos y Bebidas no Alcohólicas Preenvasados.
- Norma Oficial Mexicana NOM-086-SSA1-1994. Bienes y servicios. Alimentos y bebidas no alcohólicas con modificaciones en su composición. Especificaciones nutrimentales.
- Norma Oficial Mexicana NOM-120-SSA1-1994 Prácticas de Higiene y Sanidad para el Proceso de Alimentos, Bebidas no Alcohólicas y Alcohólicas.
- Norma Oficial Mexicana NOM-147-SSA1-1996. Bienes y servicios. Cereales y sus productos. Harinas de cereales, sémolas o semolinas. Alimentos a base de cereales, de semillas comestibles, harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas. Productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales.
- Normas microbiológicas para alimentos. ENAC. Accesado 3 mayo de 2010. <http://bioaplicaciones.galeon.com/galletas.html#a>
- Nzigamasabo, A., Hui Ming, Z. (2006). Functional and chemical properties of Ikivunde and Inyange, two traditionally processed Burundian cassava flours. *J Food Biochem.* 30:429–433.
- 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., Mazza, G., Kenaschuk, E.O. (1996). Flavonoid content of flaxseed. Influence of cultivar and environment. *Euphytica PublisherSpringer Netherlands*, 90: 163-167.
- Ostlund, R. (2002). Phytosterols in human nutrition. *Annu. Rev. Nutr.* 22: 522-549.

- Panfili, G., Fratianni, A., Irano, M. (2003). Normal phase high-performance liquid chromatography method for the determination of tocopherols and tocotrienols in cereals. *J. Agric. Food Chem.* 51: 3940-3944.
- Pannala, A.S., Chan, T.S., O'Brien, P.J., Rice-Evans, C.A. (2001). Flavonoid B-ring chemistry and antioxidant activity: Fas reaction kinetics. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 282: 1161-1168.
- Paredes-López, O., Guevara-Lara, F., Bello-Pérez, L. A. (2006). Cap. III: Frijol. En: Los Alimentos Mágicos de las Culturas Indígenas Mesoamericanas. *Fondo de Cultura Económica- Serie Ciencia para Todos*. México, DF, pp: 59-81.
- Paredes-López, O., Valverde, M. (2006). Los recursos nutraceuticos y medicinales que Mesoamerica le ha dado al mundo. *CINVESTAV* 65-73.
- Peñalver, C., Herrera, I., Tovar J.(2007). Indigestible starch associated to dietary fiber residues from cooked legume seeds consumed in Venezuela. *Interciencia* 32: 620-623.
- 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.
- Pérez-Navarrete, C., Cruz-Estrada, R., Chel-Guerrero, R., Betancur-Ancona, D. (2006) Caracterización física de extrudidos preparados con mezclas de harinas de maíz QPM (*Zea mays* L.) y frijol lima (*Phaseolus lunatus* L.). *Revista Mexicana de Ingeniería Química.* 5: 145-155.
- Peryam, D.R., Girardot, N.F. (1952) Advanced Taste-Test Method. *Food Engineering.* 24: 58-61.
- Peterson, D. (2001). Oat antioxidants. *J. Cereal Sci.* 33: 115-129.
- Pieta, P. (2000). Flavonoids as antioxidants. *J. Nat. Prod.* 63: 1037-1042.
- Pihlava, J.-M., Oksman-Caldentey, K.-M. (2001). Effecto of biotechnological processing on phenolic compounds and antioxidant activity in oats. En: *Biologically Active Phytochemicals in Food: Analysis, Metabolism, Bioavailability and Function*. Pfannhause. W.; Fenwick, G.R.; Khokhar, S.; Eds.; *The Royal Society of Chemistry: Cambridge, U.K. Special Publication*, 269: 515-518.
- Pollock, C., Cairns, A. (1991). Fructan metabolism in grasses and cereals. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 42: 77-101.
- Prior, R., Wu, X., Schaich, K. (2005). Standardized methods for the determination of antioxidant capacity and phenolics in foods and dietary supplements. *J. Agric. Food Chem.* 53: 4290-4302.

- Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-147-SSA1-1996, Bienes y servicios. Cereales y sus productos. Harinas de cereales, alimentos a base de cereales, de semillas comestibles, harinas o sus mezclas y productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales.
- Pujolà, M., Farreras, A., Casañas, F. (2007). Protein and starch content of raw, soaked and cooked beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food Chem.* 102: 1034-1041.
- 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.
- Regina, L., Favero, D. (2003). Dietary components may prevent mutation-related diseases. *Mut. Res.* 544: 195-201.
- Rehinan, Z., Rashid, M., Shah, W.H. (2004). Insoluble dietary fibre components of food legumes as affected by soaking and cooking processes. *Food Chemistry*, 85, 245-249.
- Reyes-Moreno, C., Paredes-López, O. (1993). Hard-to-cook phenomenon in common beans. A review. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 33: 227-286.
- Rice-Evans, C.A., Miller, N.J., Paganga, G. (1996). Structure-antioxidant activity relationships of flavonoids and phenolic acids. *Free Radical Biol. Med.* 7: 933-956.
- Ricroft, C., Jones, M., Gibson, G., Rastall, R. (2001). A comparative in vitro evaluation of the fermentation properties of prebiotic oligosaccharides. *J. Appl. Microbiol.* 91: 878-887.
- Roberfroid, M. (2000). Nondigestible oligosaccharides. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 40: 461-480.
- Robertfroid, M. (2001). Prebiotics: preferential substrates for specific germs? *Am. J. Clin. Nutr.* 73: 406.
- Rocha-Guzmán, N., González-Laredo, R., Ibarra-Pérez, F., Nava-Berúmen, C., Gallegos-Infante, J. (2007). Effect of pressure cooking on the antioxidant activity of extracts from three common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. *Food Chem.* 100: 5-31.
- Rocha-Guzmán, N.E., Gallegos-Infante, J.A., González-Laredo, R.F., Bello-Pérez, A., Delgado-Licon, E., Ochoa-Martínez, A., Prado-Ortíz, M.J. (2008). Physical Properties of Extruded Products from Three Mexican Common Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) Cultivars. *Plant Foods Hum Nutr.* 63:99–104.

- Roginsky, V., Lissi, E.A.(2005). Review of methods to determine chainbreaking antioxidant activity in food. *Food Chem.* 92 (2): 235-254.
- Rohvein C., Santalla E. and Gely M.C. (2004). Estimation of sorption isotherm and the heat of sorption of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) seeds. *Food Science and Technology International* 10(6): 409–413.
- Romani, A., Vignolini, P., Galardi, C., Mulinacci, N., Benedeteelli, S., Heimler, D. (2004). Germplasm characterization of Zolfino Landraces (*Phaseolus vulgaris* L.) by flavonoid content. *J. Agric. Food Chem.* 52: 3838-3842.
- Roos, Y.(2001). Cap I, Sec I: Water activity and plasticization. En: Skin, M., Robinson, D. Food shelf life stability, chemical, biochemical and microbiological changes. *CRC Press*.
- Rosin, M.P., Lajolo, M.F., Menezes, W.E. (2002) Measurement and characterization of dietary starches. *J Food Comp Anal*, 15: 367–377.
- Ruíz- Ruíz, J., Martínez-Ayala, A., Drago, S., González, R., Betancur- Ancona, D., Chel-Guerrero, L. (2008). Extrusion of a hard-to-cook bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and quality protein maize (*Zea mays* L.) flour blend. *LWT-Food Sci. Tech.* 41 (10): 1799-1807.
- Ryland, D., Vaisey-Genser, M., Arntfield, S., Malcolmson, L. (2010). Development of a nutritious acceptable snack bar using micronized flaked lentils. *Food Research International*,43:642–649.
- Ryszard, A., Gary, A., Ronald, B. (2008). Antibacterial activity of tannin constituents from *Phaseolus vulgaris*, *Fagopyrum esculentum*, *Corylus avellana* and *Juglans nigra*. *Fitoterapia*, 79 (3), 217-219.
- 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/cgcs/discursos/2008/febrero/t230207.htm>.
- Santos-Buelga, C., Scalbert, A. (2000). Proanthocyanidins and tannin-like compounds- nature, occurrence, dietary intake and effects on nutrition and health. *J. Sci. Food Agric.* 80: 1094-1117.
- 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. (2000). In vitro determination of the indigestible fraction in foods: an alternative to dietary fiber analysis. *J. Agric. Food Chem.* 48, 3342-3347.
- Serrano, J., Goñi, I. (2004) Role of black bean (*Phaseolus vulgaris*) on the nutritional status of Guatemalan population. *Arch Latinoam Nutr.* 54(1):36–44.
- Setchell, K. (1998). Phytoestrogens: the biochemistry, physiology and implications for human health of soy isoflavones. *Am. J. Clin. Nutr.* 68 (Suppl.): 1333-1346.
- Setchell, K., Brown, N., Lydeking-Olsen, E. (2002). The clinical importance of the metaolite equol a clue to the effectiveness of soy isoflavones. *J. Nutr.* 132: 3577-3584.
- Shahidi, F., Naczk, M. (1995). Food Phenolics: sources, chemistry, effects, applications. Technomic, USA, pp: 1-5.
- Shewry, P., Piironen, V., Lampi, A., Nystro, L., Li, L., Rakszegi, M.; Fra's, A.; Boros, D.; Gebruers, K.; Courtin, Ch.; Delcour, J.A.; Andersson, A.; Dimberg, L.; Bedo, Z.; Ward, J. (2008). Phytochemical and fiber components in oat varieties in the HEALTHGRAIN diversity screen. *J. Agric. Food Chem.* 56: 9777-9784.
- Shi, J., Mazza, G., Le Maguer, M. (2002). *Functional foods: Biochemical and processing aspects*. Vol. 2. Boca Ratón, FL., CRC Press.
- Shiga, M., Lajolo, M., Filisetti, M. (2003). Cell wall polysaccharides of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Cienc. Tenol. Aliment.* Campinas 23 (2) : 141-148.
- Shils, M., Olson, J., Shike, M., Ross, A. (2003). Tratado de nutrição modernana saúde e na doença. En: Queiroz Monici et al. 2005. Bifidogenic effect of dietary fiber and resistant starch from leguminous on the intestinal microbiota of rats. *Nutrition*, 21,602–608.
- Shogren, M.C., Pomeranz, Y., Finney, K.F. (1981). Counteracting the deleterious effects of fibre in breadmaking. *Cereal Chem.* 58 (2): 142-144.
- Shogren MD, Pomeranz Y, Finney KF (1981). Counteracting the deleterious effects of fibre in breadmaking', *Cereal Chem*, 58 (2), 142–144.
- SIAP. (2006). Recuperado el Junio de 2009, de <http://www.siap.sagarpa.gob.mx/>
- Siddhuraju, P., Becker, K. (2001). Effect of Various Domestic Processing Methods on Antinutrients and *in Vitro* Protein and Starch Digestibility of Two Indigenous Varieties of Indian Tribal Pulse, *Mucuna pruriens* Var. *utilis* .*J. Agric. Food Chem.* 49: 3058-3067.

- Siddhuraju, P. (2006). The antioxidant activity and free radical-scavenging capacity of phenolics of raw and dry heated moth bean (*Vigna aconitifolia*) (Jacq.) Marechal seed extracts. *Food Chem.* 99 (1): 149-157.
- Siripatrawan, U., Jantawat, P. (2006). Determination of moisture sorption isotherms of Jasmine Rice cracker using BET and GAB models. *Food Sci.Tech. Int.* 12 (6): 459-465.
- Slavin, J. (2004) Whole grains and human health. *Nutr. Res. Rev.* 17: 99-110.
- Smith, J., Yokoyama, W., German, B. (1998). Butyric acid from the diet: actions at the level gene expression. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 38: 259-297.
- Snijman, P., Swanevelder, S., Joubert, E., Green, I., Wentzel C.A., Gelderblom. (2007). The antimutagenic activity of the major flavonoids of rooibos (*Aspalathus linearis*): Some dose-response effects on mutagen activation-flavonoid interactions. *Mutation Research* 631: 111-123.
- Steffe, J. (1996) Rheological methods in food processing engineering. *Freeman Press*. Segunda edición, Michigan, EU. Pp 19.
- Steenkamp, J.B.E.M., Gielens, K. (2003). Consumer and market drivers of trial probability of new consumer packaged goods. *Journal of Consumer Research*, 30(3): 368-384.
- Sur, R., Nigam, A., Grote, D., Liebel, F., Southall, M. (2008). Avenanthramides, polyphenols from oats, exhibit anti-inflammatory and anti-itch activity. *Archives of Dermatological Research* Nov; 300 (10): 569-74.
- Tettweiler, P. (1991). Snack food worldwide. *Food Tech* , 45: 58-62. En: Utilización de cotiledones de algarobo (*Prosopis chilensis* (Mol) Stuntz) en la elaboración de barras de cereales. (2000). Estevez, A., Escobar, B., Ugarte, A. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 50 (2): 148-151.
- Topping, D., Clifton, P. (2001). Short-Chain Fatty Acids and Human Colonic Function: Roles of Resistant Starch and Nonstarch Polysaccharides. *Physiol. Rev.* 81: 1031-1064.
- Tovar, J., de Francisco, A., Björck, I., Asp, N.-G. (1991). Relationship between microstructure and *in vitro* digestibility of starch in precooked leguminous seed flours. *Food Struct.* 10:19- 26.
- Tunland, B., Meyer, D. (2002). Nondigestible oligo-and polysaccharides (dietary fiber): their physiology and role in human health and food. *Comp. Rev. Food Sci. Food Saf.* 3: 73-92.

- Turkmen, N., Sari, F., Velioglu, S. (2005). The effect of cooking methods on total phenolics and antioxidant activity of selected green vegetables. *Food Chem.* 93: 713.
- Tyrakowka, B., Soffers, A. E. M. F., Szymusiak, H., Boeren, S., Boersma, M., Lemanska, K., Vervoort, J., Rietjens, I. M. C. M. (1999). TEAC antioxidant activity of 4-hydroxybenzoates. *Free Radical Biol. Med.* 27: 1427-1436.
- U.S Department of Health and Human Services. *Dietary guidelines for Americans.* (2005). www.healthierus.gov/dietaryguidelines.
- Vaclavik, V., Christian, E. (2007). Essentials of food science. En: V. Vaclavik, E. Christian, Carbohydrates in food. 3a. ed. Food Science Text Series. Pp: 33-47.
- Van de Wiele, T., Boon, N., Possemiers, S., Jacobs, H., Verstraete, W. (2007). Inulin-type fructans of longer degree of polymerization exert more pronounced in vitro prebiotic effect. *J. Appl. Microbiol.* 102: 452-460.
- Van Trijp, H.C.M., van Kleef, E. (2008). Newness, value and new product performance. Trends in *Food Science & Technology*, 19: 562-573.
- Vargas -Torres, A., Osorio-Díaz, P., Islas-Hernández, J., Tovar, J., Paredes-López, O.; Bello-Pérez, L. (2004). Starch digestibility of five cooked black bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties. *J. Food Comp. Anal.* 17: 605-612.
- Vargas-Torres, A., Osorio-Díaz, P., Agama-Acevedo, E., Bello-Pérez, L. (2006). Digestibilidad del almidón en diferentes variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Interciencia*, 31 (12): 881-884.
- Veeriah, S., Kautenburger, T., Habermann, N., Sauer, 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 (3): 164-174.
- Vincent, J.F.V. (1998). The quantification of crispness. *J. Sci. Food Agric.* 78: 162-168
- Vermerris, W.,Nicholson, R.(2006). Phenolic Compound Biochemistry. Ed. Springer, USA., pp: 235-255.
- Vidal-Valverde, C., Frias, J., Esteban, R. (1992). Dietary fiber in processed lentils. *J. Food Sci.* 57: 1161-1163.

- Vodovotz, Y. (2008). Cap XVI: Soy-enriched bread. En: Hamaker, B. Technology of functional cereal products. *CRC Press*, Pp: 184-214.
- Wanga, N., Hatcher, D.W., Tyler, R.T., Toews, R., Gawalko, E.J. (2004). Effect of cooking on the composition of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and chickpeas (*Cicer arietinum* L.). *Food Chem.* 85(2): 245-249.
- Ward, J.L., Poutanen, K., Gebruers, K., Piironen, V., Lampi, A., Nyström, L., Anderson, A.A.M., Aman, P., Boros, D., Rakszegi, M., Bedo, Z., Shewry, P. (2008). SYMPOSIUM: The HEALTHGRAIN Cereal Diversity Screen: Concept, Results, and Prospects. *J. Agric. Food Chem.* 2008, 56, 9699–9709.
- Welch, R., Brown, J., Leggett, J. (2000). Interspecific and intraspecific variation in grain and groat characteristics of wild oat (*Avena*) species: Very high groat (1-3),(1-4)- β -D-glucan in an *Avena atlantica* genotype. *J. Cereal Sci.* 31: 273-279.
- Wildman, R.E.C. (2001). Handbook of Nutraceutical and Functional Foods. Modern Nutrition. USA, pp 26-27.
- Winkel-Shirley, B. (2001). Flavonoid biosynthesis. A colorful model for genetics, biochemistry, cell biology, and biotechnology. *Plant Physiol.* 126: 485-593.
- Witting de Penna, E., Avendaño, P., Soto, D., Bungler, A. (2003). Caracterización química y sensorial de biscochuelos enriquecidos con fibra dietética y micronutrientes para el anciano. *Archivos latinoamericanos de Nutrición*, 53(1) s/p.
- Wolosiak, R., Worobiej, E., Piecyk, M., Druzynska, B., Nowak, D., Lewicki, P.P. (2010). Activities of amine and phenolic antioxidants and their changes in broad beans (*Vicia faba*) after freezing and steam cooking. *J. Food Sci. Tech.* 45: 29–37.
- Wood, P., Weisz, J., Blackwell, B. (1994). Structural studies of (1-3),(1-4)- β -D-glucans by ¹³C-nuclear magnetic resonance spectroscopy and by rapid analysis of cellulose-like regions using high-performance anion-exchange chromatography of oligosaccharides released by lichenase. *Cereal Chem.* 71: 301-307.
- Wood, P., Beer, M. (1998). Functional Oat Products. En: *Functional Foods: Biochemical & Processing Aspects*. G. Mazza, Pennsylvania, USA.: Technomic Publishing Company, Inc. Pag. 1-37.
- Wood, P. (2007). Cereal β -glucans in diet and health. *J. Cereal Sci.* 46: 230-238.
- 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 Sci.* 72:S159–66.

- Xu, B.J., Yuan, S.H., Chang, S.K.C.(2007). Comparative analyses of phenolic composition, antioxidant capacity, and color of cool season legumes and other selected food legumes. *J. Food Sci.* 72: S167–77.
- Xu, B.J., Chang, S.K.C. (2008). Total phenolic content and antioxidant properties of Eclipse black beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as affected by processing methods. *J. Food Sci.* 73 (2), 19-27.
- Xu, B.J., Chang, S.K.C. (2009). Total Phenolic, Phenolic Acid, Anthocyanin, Flavan-3-ol, and Flavonol Profiles and Antioxidant Properties of Pinto and Black Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) as Affected by Thermal Processing. *J. Agric. Food Chem.* 57: 4754–4764 .
- Yamasaki, H., Matsumoto, K. (1993). Production of fructo-oligosaccharide-rich fructose syrup. In: Inulin and Inulin-Containing Crops, ed. A. fuchs, pp 35-357. Elsevier Science Publishers, Amsterdam.
- Yeh, C., Yen, G. (2003). Effect of phenolic acids on human phenolsulfotransferases in relation to their antioxidant activity. *J. Food Chem.* 51: 1474-1479.
- Yi, W., Fischer, J., Akoh, C. C.(2005). Study of anticancer activities of muscadine grape phenolics *in vitro*. *J. Agric. Food Chem.* 53 (22): 8804-8812.
- Yickyun, P., Hunter, J., Spiegelman, D., Bergkvist, L., Berrino, F., van den Brandt, P., Buring, J., Colditz, G., Freudenheim, J., Fuchs, Ch., Giovannucci, E., Goldbohm, R., Graham, S., Harnack, L., Hartman, A., Jacobs, D., Kato, I., Krogh, V., Leitzmann, M., McCullough, M., Miller, A., Pietinen, P., Rohan, T., Schatzkin, A., Willett, W., Wolk, A., Zeleniuch-Jacquotte, A., Zhang, S., Smith-Warner, S. (2005). Dietary Fiber Intake and Risk of colorectal Cancer: A Pooled Analysis of Prospective Cohort Studies. *JAMA* 294 (22).
- Zhao, G., Nyman, M., Jönsson, J. (2006). Rapid determination of short chain fatty acids in colonic contents and faeces of humans and rats by acidified water extraction and direct injection gas chromatography. *Biomed. Chromatogr.* 20 (8): 674-82.