



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

FACULTAD DE QUÍMICA

**“DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y NUTRACÉUTICA
DE UN PRODUCTO TIPO ‘HUMMUS’ A BASE DE FRIJOL COMÚN
(*Phaseolus vulgaris* L.) COMO ALTERNATIVA DE REFRIGERIO
REDUCIDO EN CALORÍAS”**

TÉSIS

QUE COMO PARTE DE LOS REQUISITOS PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

MAESTRO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

PRESENTA

I.Q. CHRISTOPHER CONTRERAS MARTÍNEZ

DIRIGIDO POR

Dra. MA. GUADALUPE FLAVIA LOARCA PIÑA

SANTIAGO DE QUERÉTARO, QUERÉTARO, 2022.



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

“DESARROLLO Y CARACTERIZACIÓN QUÍMICA Y NUTRACÉUTICA DE UN PRODUCTO TIPO HUMMUS A BASE DE FRIJOL COMÚN (*Phaseolus vulgaris* L.) COMO ALTERNATIVA DE REFRIGERIO REDUCIDO EN CALORÍAS”

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de
Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Presenta
I.Q. Christopher Contreras Martínez

Dirigido por
Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña
Presidente

Firma

Dra. Marcela Gaytán Martínez
Vocal

Firma

Dra. María de la Luz Reyes Vega
Vocal

Firma

Dra. Sandra Olimpia Mendoza Díaz
Suplente

Firma

Dr. Jorge Acosta Gallegos
Suplente

Firma

Dra. Silvia Lorena Amaya Llano
Directora de la Facultad

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña
Directora de Investigación y Posgrado

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD DEL ESTUDIANTE:

Declaro de los datos propios obtenidos en esta investigación fueron generados durante el desarrollo de mi trabajo de tesis de forma ética y que reporto detalles necesarios para que los resultados de esta tesis sean reproducibles en eventuales investigaciones futuras.

Finalmente, este manuscrito de tesis es un trabajo original en el cual se declaró y dio reconocimiento a cualquier colaboración o cita textual presentadas en el documento.



Christopher Contreras Martínez

Dedicatoria

A mi peculiar familia. A mis pocos, pero entrañables amigos. Y al pequeño Oziel.
Porque se lo merecen.

Agradecimientos.

A la Universidad Autónoma de Querétaro, por permitirme desarrollar el presente proyecto en sus instalaciones.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, por otorgarme una beca que me permitió dedicar mi tiempo completo al desarrollo del presente proyecto.

A la doctora Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña, por aceptarme como su estudiante y guiarme a lo largo de estos años.

A mi comité evaluador, por estar presentes con sus comentarios y correcciones los cuales permitieron entregar un mejor trabajo.

A mis profesores del posgrado, por sus clases llenas de valiosa información y por su genuino interés en que nosotros aprendiéramos.

Al doctor Ruy Pérez Tamayo y a Salvador Badui Dergal, porque cuando surgió la idea de hacer un posgrado, sus textos me dieron la confianza de hacerlo, aunque eso implicara salir de mi zona de confort.

A mi familia, por todo su apoyo en la distancia (y por las recetas de comida).

A Ramón, Rodrigo (Ramírez), Karen, Tsise, Josué, Vane, al sensei Toño Silva, al teacher Mario y a toda esa gente tanto de Aguascalientes como de Querétaro (que son bastantes), porque cuando los ánimos flaquearon, fueron apareciendo en el momento justo, como si se estuvieran turnando, y sin saberlo, me recargaban las pilas para continuar con este proyecto.

A mi psicóloga, Érica Serna, quien en la distancia y aún a día de hoy, me ayuda a sacar lo mejor de mí.

Y por último, pero no menos importante, a mi yo futuro, porque cada quién sabe lo que cada logro le costó, y yo sé lo difícil que esto fue. Ánimo, campeón, valdrá la pena.

ÍNDICE GENERAL

1.Introducción.....	1
2.Antecedentes.....	2
2.1.La dieta en México.....	2
2.2.Hummus.....	4
2.2.1.Cambios en el producto.....	5
2.3.Frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.).....	6
2.3.1.Composición química del frijol común.....	9
2.3.1.1.Proteínas.....	9
2.3.1.2.Lípidos.....	11
2.3.1.3.Carbohidratos.....	11
2.3.1.4.Vitaminas y minerales.....	14
2.3.1.5.Compuestos bioactivos.....	15
2.4.Extrusión de alimentos.....	17
3.Justificación.....	20
4.Objetivos.....	21
4.1.Objetivo general.....	21
4.2.Objetivos específicos.....	21
5.Materiales y Métodos.....	22
5.1.Materiales.....	22
5.1.1.Compuestos químicos.....	22
5.1.2.Materia prima.....	22

5.2.Métodos.....	23
5.2.1.Cocción del frijol.....	23
5.2.1.1.Cocido tradicional.....	23
5.2.1.2.Extrusión.....	23
5.2.2.Caracterización Proximal.....	23
5.2.2.1.Determinación de humedad.....	23
5.2.2.2.Determinación de cenizas.....	24
5.2.2.3.Determinación de lípidos.....	24
5.2.2.4.Determinación de proteínas.....	25
5.2.2.5.Determinación de Carbohidratos.....	26
5.2.3.Caracterización nutracéutica.....	26
5.2.3.1.Determinación de fibra dietética.....	26
5.2.3.1.1.Determinación de fibra dietética insoluble.....	26
5.2.3.1.2.Determinación de fibra soluble.....	27
5.2.3.2.Determinación de almidón resistente.....	28
5.2.3.3.Extracción de compuestos fenólicos libres.....	29
5.2.3.4.Determinación de fenoles totales.....	29
5.2.3.5.Determinación de flavonoides.....	30
5.2.3.6.Determinación de taninos.....	30
5.2.3.7.Determinación de capacidad antioxidante.....	30
5.2.3.7.1.Capacidad antioxidante mediante DPPH.....	30
5.2.3.7.2.Capacidad antioxidante mediante ABTS.....	31
5.2.4.Digestibilidad <i>in vitro</i>	31

5.2.4.1.Digestibilidad <i>in vitro</i> de proteína.....	31
5.2.4.2.Digestibilidad <i>in vitro</i> de carbohidratos.....	32
5.2.4.2.1.Determinación de almidón total.....	32
5.2.4.2.2.Determinación de almidón disponible.....	33
5.2.5.Formulación de producto tipo hummus.....	33
5.2.5.1.Preparación del producto tipo hummus.....	34
5.2.6.Análisis fisicoquímico.....	34
5.2.6.1.Medición de color.....	34
5.2.6.2.Medición de pH.....	34
5.2.6.3.Reología.....	34
5.2.7.Diseño experimental.....	35
5.2.8.Análisis estadístico.....	37
6.Resultados y discusión.....	38
6.1.Caracterización de materia prima.....	38
6.1.1.Caracterización proximal.....	38
6.1.2.Ccaracterización nutracéutica.....	40
6.1.2.1.Contenido de fibra.....	40
6.1.2.2.Contenido de fenoles totales, flavonoides y taninos.....	41
6.1.2.3.Capacidad antioxidante.....	42
6.2.Formulación de los productos tipo hummus de frijol común.....	43
6.3.Caracterización del producto tipo hummus.....	44
6.3.1.Caracterización proximal.....	44
6.3.2.Caracterización nutracéutica.....	47

6.3.2.1. Contenido de fibra.....	47
6.3.2.2. Aporte calórico.....	49
6.3.2.3. Contenido de fenoles totales, flavonoides y taninos.....	50
6.3.2.4. Capacidad antioxidante.....	52
6.3.3. Caracterización físico-química.....	53
6.3.3.1. Color.....	53
6.3.3.2. pH.....	56
6.3.3.3. Reología.....	57
6.3.4. Digestibilidad in vitro.....	60
6.3.4.1. Digestibilidad in vitro de proteínas.....	60
6.3.4.2. Digestibilidad in vitro de carbohidratos.....	61
7. Conclusiones.....	63
8. Referencias.....	64

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición proximal de leguminosas de mayor consumo en Estados Unidos. Los porcentajes están expresados en base seca.....	5
Cuadro 2. Principales aminoácidos esenciales, presentes en proteína de frijol común y su consumo diario recomendado por la FAO.....	10
Cuadro 3. Cambios en el porcentaje de carbohidratos, la fibra dietética soluble y no soluble de cuatro variedades de frijol común.....	13
Cuadro 4. Contenido de proteína, lípidos, cenizas y carbohidratos en harinas de frijol extrudido y cocido tradicional y tahina.....	38
Cuadro 5. Fibra dietaria soluble e insoluble de harinas de frijol extrudido y cocido tradicional.....	40
Cuadro 6. Contenido de compuestos fenólicos, flavonoides y taninos en harinas de frijol extrudido y cocido tradicional y tahina.....	41
Cuadro 7. Capacidad antioxidante de harinas de frijol extrudido y cocido tradicional y tahina.....	43
Cuadro 8. Contenido de humedad, proteína, lípidos, cenizas y carbohidratos en hummus comercial, hummus de frijol cocido y hummus de frijol extrudido en base húmeda.....	45
Cuadro 9. Fibra dietaria total en hummus comercial, hummus de frijol cocido y hummus de frijol extrudido.....	48
Cuadro 10. Aporte calórico estimado de hummus comercial, hummus de frijol cocido y hummus de frijol extrudido.....	49
Cuadro 11. Contenido de compuestos fenólicos, flavonoides y taninos en hummus comercial, hummus de frijol cocido y hummus de frijol extrudido.....	50
Cuadro 12. Capacidad antioxidante de hummus comercial, hummus de frijol cocido y hummus de frijol extrudido.....	52

Cuadro 13. Medición de pH en hummus comercial, hummus de frijol cocido y hummus de frijol extrudido.....	57
Cuadro 14. Digestibilidad <i>in vitro</i> de proteína en hummus comercial, hummus de frijol cocido y hummus de frijol extrudido.....	60
Cuadro 15. Contenido de almidón total, disponible y resistente en hummus comercial, hummus de frijol cocido y hummus de frijol extrudido.....	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura física del frijol común.....	8
Figura 2. Diagrama de la metodología experimental.....	36
Figura 3. Diseño experimental Bifactorial 2^2	44
Figura 4. Esquema de coordenadas de color del sistema CIELab.....	54
Figura 5. Localización gráfica de los valores h y C* de las cuatro formulaciones del producto tipo hummus y el hummus comercial, en las zonas de color del sistema CIELab.....	55
Figura 6. Muestra de producto tipo hummus elaborado a base de frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) y hummus de garbanzo comercial.....	56
Figura 7. Barrido de frecuencias para los productos tipo hummus de frijol común y hummus comercial en el módulo elástico (A) y módulo viscoso (B).....	59

Resumen

México se ubica en el segundo lugar en el mundo con mayor población con sobrepeso y obesidad, siendo estos los principales factores de riesgo para padecer enfermedades crónicas degenerativas no transmisibles (ECDNTs) tales como dislipidemias, enfermedades cardiovasculares, diabetes tipo 2, y algunos tipos de cáncer. La adopción de dietas altas en calorías y un estilo de vida con poca actividad física se señalan como las principales causas del sobrepeso y obesidad. Por lo que la industria alimentaria intenta ofrecer productos más saludables al público, tales como el hummus de garbanzo, el cual puede ser formulado con otras leguminosas, como el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), uno de los principales alimentos en México debido a su valor nutricional y propiedades funcionales derivadas de sus compuestos bioactivos como fibra dietaria y compuestos fenólicos. Sin embargo, su consumo ha ido a la baja en años recientes. Esta propuesta consistió en elaborar un producto tipo hummus usando frijol común variedad bayo Madero, para ofrecer una nueva forma de consumo de frijol. Se compararon dos procesos de cocción: uno tradicional y otro por extrusión. Al producto final se le determinó su perfil proximal, nutracéutico y físico-químico. El frijol cocido tradicionalmente mostró un mayor contenido de fibra dietaria total (36.62 ± 1.57 %), aunque la capacidad antioxidante fue mayor en el frijol cocido por extrusión ($1,467.98 \pm 173.68$ y 5710.21 ± 200.79 $\mu\text{mol eq. Trolox/g}$, por DPPH y ABTS respectivamente). Los hummus hechos con frijol común, tienen un menor contenido de proteína (de 6.14 ± 0.18 hasta 6.90 ± 0.80 g/100 g) comparados contra el hummus comercial (7.6 g/100 g). Sin embargo, estos presentaron hasta 2.3 veces más fibra y almidón resistente y una capacidad antioxidante hasta 5.25 veces mayor que el hummus comercial. De acuerdo al perfil reológico de las muestras, los productos tipo hummus de frijol extrudido los que mostraron un perfil más parecido al del hummus comercial, sin embargo, es la formulación 1 de este proceso de cocción el cuál posee una digestibilidad de proteína 6.21% mayor al del producto comercial, por lo que éste se perfila como la mejor opción de fórmula de hummus preparado a base de frijol común. Debido a lo anterior, se sugiere que la sustitución del garbanzo por el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad bayo madero, es una buena opción para mejorar el perfil químico y nutracéutico de una formulación de hummus.

(Palabra clave: Hummus, frijol común, enfermedades crónicas degenerativas no transmisibles, compuestos bioactivos)

ABSTRACT

Mexico ranks the second in the world with the largest overweight and obese population, these being the main risk factors for suffering from chronic degenerative non-communicable diseases (CDNCDs) such as dyslipidemias, cardiovascular diseases, diabetes type 2 and some kind of cancers. Getting high-calorie diets and life style lacking of physical activity are pointed out as the main reasons of overweight and obesity. In order to change this situation, food industry is trying to offer healthier products to populations, such as chickpea hummus, which could be formulated with other legumes like common bean (*Phaseolus vulgaris* L.), one crucial food in Mexico due to its nutritional value and functional properties derived from its bioactive compounds like dietary fiber and phenolic compounds. However, in recent years, its consumption has gone down. This proposal aimed to elaborate a hummus-type product using common bean Bayo Madero variety, offering a new way of bean consumption. Two different processes were compared: traditional cooking and extrusion. The final product was characterized by its proximal, nutraceutical and physicochemical profile. Traditional cooked bean showed the highest amount of dietary fiber (36.62 ± 1.57 %), meanwhile extruded bean had the highest antioxidant capacities ($1,467.98 \pm 173.68$ y 5710.21 ± 200.79 $\mu\text{mol eq. Trolox/g}$, by DPPH and ABTS respectively). Hummus made of common bean had a lower amount of protein (de 6.14 ± 0.18 hasta 6.90 ± 0.80 g/100 g) compared to commercial hummus (7.6 g/100 g). Nonetheless, they also reached out 2.3 times more fiber and resistant starch, and 5.25 times higher antioxidant capacity. According to the rheological profile, hummus made of extruded bean showed the most similar behavior to commercial hummus, being the first formulation the one showed the better protein digestibility against the commercial hummus (6.21% higher). That was the reason why this formulation ranked the best between the others as the best option of hummus made of common bean. Finally, it's suggested that substitution of chickpea to common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Bayo Madero variety is a very good option to enhance chemical and nutraceutical profile of hummus formula.

(Key words: hummus, common bean, chronic degenerative non-communicable diseases, bioactive compounds)

1.Introducción.

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es uno de los alimentos de mayor importancia a nivel mundial, debido a que es una buena fuente de nutrientes y energía, sin embargo, en América latina trascendió como alimento cultural y como producto de gran importancia socioeconómica. México se ubica como el 6to. mayor productor de frijol a nivel mundial. El valor nutrimental del frijol, recae sobre su contenido de proteína, vitaminas, minerales y compuestos bioactivos, entre los que destacan carbohidratos no digeribles, fibra dietaria y compuestos fenólicos, a los cuales se les ha atribuido diversos beneficios a la salud, por tener capacidad antioxidante, antiinflamatoria, antimutagénica, hipocolesterolémica e incluso anticarcinogénica. Por lo anterior, en años recientes, se ha buscado la inclusión de esta leguminosa en diversas formulaciones por parte de la industria alimentaria.

A pesar de los beneficios del frijol, su consumo a nivel nacional ha ido en descenso, pasando de 16 kg en 1980 a 10.4 kg per cápita en 2019. Como principales causas del descenso en el consumo de frijol se han señalado la migración, urbanismo, cambios en el poder adquisitivo de la población, el alto consumo de productos hipercalóricos, así como la incorporación de la mujer en la actividad laboral.

El hummus de garbanzo (*Cicer arietinum*) es un alimento altamente nutritivo, además de que se le considera un alimento funcional debido a su contenido de compuestos bioactivos, pero en su formulación se incluyen ingredientes poco convencionales o que no son fácilmente aceptados, por lo que, en algunas regiones del mundo se han sustituido algunos ingredientes, como el garbanzo, por la leguminosa originaria de la región. Se sabe que esta medida provoca una mejora en el perfil nutrimental del producto e impulsa el consumo de la leguminosa sustituta. En este sentido, el hummus es un alimento atractivo para impulsar el consumo del frijol común en México, aunado a que, por sus diferentes propiedades biológicas, puede ser considerado como un alimento funcional que puede llegar a sustituir alimentos hipercalóricos y por tanto contribuir a la disminución del riesgo de desarrollar enfermedades crónico degenerativas no transmisibles (ECDNTs).

2. Antecedentes

2.1. La dieta en México

La problemática alimentaria en el mundo está provocando el desarrollo de enfermedades, las cuales se originan por las carencia o exceso en el consumo de alimentos (Rodríguez, 2015). La desnutrición es uno de los padecimientos generados como consecuencia de las carencias de una alimentación balanceada. Dicho padecimiento, se manifiesta con retrasos en el crecimiento y desarrollo de quien la padece, peso menor al que corresponde por edad y altura y deficiencias en micronutrientes (WHO, 2016). Aun cuando la incidencia de esta condición ha disminuido desde mediados del siglo pasado en la población mexicana, se ha demostrado que hasta un 14.9% de los niños menores de 5 años en poblaciones menores de 100,000 habitantes presentan desnutrición crónica, asociando este padecimiento a condiciones de alta marginalidad, como habitar un hogar indígena y la poca diversidad dietética (Cuevas-Nasu *et al.*, 2019).

La alta ingesta de alimentos con un elevado aporte calórico y poco valor nutrimental, puede ser un factor para desarrollar anemia, patología caracterizada por disminuir los niveles de hemoglobina en sangre (UNICEF, 2013). En países de ingresos bajos y medios, se sabe que este padecimiento es una de las causas más importantes de morbilidad-mortalidad materna e infantil, prematuridad, bajo peso al nacer, capacidad de realizar trabajo físico y baja productividad (Mejía-Rodríguez *et al.*, 2019). En la década pasada, González-Castell *et al.* (2007), encontraron una relación positiva entre la presencia de anemia de niños mexicanos menores de 4 años y el constante consumo de refrescos y jugos industrializados. Esta relación se debe a efectos de reducción o quelación que ejercen los azúcares, mono- y di- sacáridos, sobre algunos micronutrientes de vital importancia para el organismo, tales como el Hierro. (Christides, y Sharp, 2013). Hasta el año 2018, los grupos más afectados por la anemia eran niños menores de 4 años y mujeres en edad fértil. En el caso de los niños, la prevalencia de la enfermedad es muy similar entre aquellos que viven en una zona rural y una urbana (23.2 y 22.7%, respectivamente). Aunado a lo anterior, se sabe que los niños de 1 a 4 años son el grupo de la población que más consume

bebidas lácteas (35.6%) y no-lácteas (83.3%) endulzadas, cereales dulces (48.6%), botanas, dulces y postres (63.6%), alimentos conocidos por su baja calidad nutrimental y alto contenido de azúcares (De la Cruz-Góngora *et al.*, 2019; ENSANUT, 2018). Por otro lado, las mujeres de edad fértil presentan un 34.3% de prevalencia de anemia, destacando que las más afectadas son las que viven en zonas rurales, debido a las bajas condiciones de bienestar, poca diversidad dietética y seguridad alimentaria (Mejía-Rodríguez *et al.*, 2019).

Por otra parte, como consecuencia del exceso alimentario se encuentra la creciente prevalencia de la obesidad y el sobrepeso en la población mexicana. Se sabe que una acumulación de grasa fuera de lo normal o incluso excesiva, es lo que define a la obesidad y al sobrepeso (WHO, 2020). Una creencia generalizada de manera errónea es que el incremento de la población con sobrepeso y obesidad es una característica sólo de países con altos índices de desarrollo, sin embargo, las estadísticas demuestran que este fenómeno también se presenta en países en vías de desarrollo (OECD, 2017). La Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT) 2018 revela que el grupo de la población con 20 años de edad o más, es el más afectado con 75.2% de la población con problemas de sobrepeso y obesidad, con 39.1% y 36.1% respectivamente (ENSANUT, 2018). Datos que han posicionado a México como el segundo país con mayor incidencia de población con sobrepeso y obesidad del mundo, solo por debajo de Estados Unidos (OECD, 2017). Esta situación es preocupante, debido a que la obesidad y el sobrepeso son los principales factores de riesgo para desarrollar ECDNTs, como las enfermedades cardiovasculares, diabetes mellitus y algunos tipos de cáncer, tales como el de colon, recto y pecho (WHO, 2018).

El 60% de la población mexicana vive dentro de algún nivel de inseguridad alimentaria (ENSANUT, 2018), además, por el estilo de vida moderno, la población ingiere alimentos de bajo costo y listos para consumir, los cuales se han convertido en una alternativa más asequible que mantener una dieta de alta calidad y rica en nutrientes (Drewnowski, 2009). Esta situación ha conllevado a problemas asociados a la desnutrición, anemia, sobrepeso y obesidad. En adición a lo anterior, se ha

demostrado que la población mexicana destina gran parte de sus ingresos en adquirir alimentos de alto contenido de azúcar y aceite, así como comidas fuera de casa, las cuales aportan una alta densidad energética, incrementando la inseguridad alimentaria ([Mundo-Rosas et al., 2019](#)).

La Organización Mundial de la Salud (WHO, por sus siglas en inglés) ha emitido una serie de recomendaciones para combatir esta problemática, destacando en una de ellas, a la industria alimentaria, la cual puede desempeñar un papel importante en la promoción de dietas sanas mediante la reducción de sal, azúcar y grasas a alimentos procesados, asegurando la disponibilidad de productos saludables y nutritivos a todos los sectores de la población, contribuyendo a la seguridad alimentaria ([WHO, 2020](#)). De la misma forma, es necesario enfocarse en el desarrollo de alimentos que contengan sustancias bioactivas, además de sus propiedades nutrimentales. Los alimentos que presentan estos componentes son llamados alimentos funcionales, los cuales mejoran el estado de bienestar del organismo más allá de sólo nutrirlo. El consumo de estos alimentos se ha relacionado con la prevención a desarrollar ECDNTs pero siempre acompañado de un estilo de vida no sedentario ([Lobo et al., 2010](#)).

2.2. Hummus

De acuerdo al Codex Alimentarius, hummus con 'tahina' (pasta de ajonjolí) se define como el producto preparado con garbanzo seco, lavado, hervido y hecho puré, mezclado con tahina, y además puede adicionarse o no, sal a la mezcla ([CODEX STAN, 2007](#)). Dentro de la misma norma se especifica al garbanzo (*Cicer arietinum*) y tahina como ingredientes básicos; mientras que la sal, jugo de limón, condimentos y especias son ingredientes facultativos.

El hummus es la palabra árabe que se refiere a los granos de garbanzo o al puré de garbanzo, el cuál puede ser molido y amasado con aceite de oliva, salsa de tahina, paprika o perejil. Por los ingredientes contenidos en su formulación, el hummus de garbanzo ofrece un alto contenido de proteína vegetal, grasas monoinsaturadas, fenoles de importancia biológica y fibra ([Boskou, 2012](#); [Avieli, 2015](#)), características que convierten a este producto en un alimento balanceado. Su forma

de preparación y su manera de combinarse con otros alimentos han llevado a considerar al hummus un producto atractivo para el nicho de mercado de los productos vegetarianos, un tema que ha adquirido gran importancia entre las poblaciones de adultos jóvenes. También se le reconocen algunas propiedades nutrimentales por su alto contenido de lecitina, vitaminas B y C, ácido fólico y fibras solubles (Chaves, 2010).

2.2.1. Cambios en el producto

Para introducir el hummus como producto a economías de diferentes países, es necesario hacer algunas consideraciones de acuerdo a las costumbres culinarias de la población. Debido a que el nombre “hummus” es una denominación de origen que indica su procedencia del oriente medio, el cambio de alguno de los ingredientes principales, provocaría el cambio del nombre a “producto tipo hummus”. Asimismo, el objetivo de cambiar los ingredientes básicos es incrementar el valor nutricional y aportar valor agregado al producto. Los criterios para cambiar ingredientes, pueden ser varios, como el contenido de proteína, carbohidratos o fibra que se pretenda aportar al producto final (Bandaró, 2016). En el Cuadro 1 se muestra la composición proximal de las leguminosas de mayor consumo en Estados Unidos.

Cuadro 1. Composición proximal de leguminosas de mayor consumo en Estados Unidos. Los porcentajes están expresados en base seca.

Leguminosa	Proteína (%)	Lípidos (%)	Carbohidratos (%)	Fibra (%)	Minerales (%)
Frijol negro	26.9	1.6	66.9	1.0	3.6
Judía mungo	26.7	2.3	64.0	7.2	3.6
Garbanzo	22.7	5.0	66.3	3.0	3.0
Alubias	24.1	1.8	65.2	4.5	4.4
Chicharos	27.4	1.3	66.6	0.9	3.8
Lentejas	28.6	0.8	67.3	0.8	2.4
Chicharo seco	25.7	1.6	68.6	1.6	3.0

Cuadro modificado de [\(Muhammad, 2013\)](#)

Tomando como base los datos del cuadro 1, se puede concluir que la sustitución del garbanzo por otra leguminosa, podría influir en el contenido nutrimental de un hummus tradicional. Por ejemplo, si se deseara incrementar el contenido de proteína, lo mejor sería usar lentejas, chicharos o frijol negro. Por otro lado, si lo que se quisiera mejorar fuera el contenido de fibra, la mejor opción sería usar la judía mungo [\(Muhammad et al., 2013\)](#). Un ejemplo de lo anterior se dio en Costa Rica, dónde se sustituyó al garbanzo por un frijol gandúl, debido a su contenido en proteína (18 – 25%), oligoelementos y vitaminas A y C. Es importante resaltar el hecho de que este cambio fue aplicado paralelamente como parte de una estrategia para incrementar el consumo de este tipo de frijol [\(Andrés-Jiménez, 2013\)](#). De manera similar, es posible mejorar otras características del producto, tales como sus propiedades nutraceuticas. Johnson *et al.* (2014), agregaron betalaina proveniente de remolacha, lo cual resulto en un incremento de la capacidad antioxidante del producto. Además de un incremento en la capacidad antioxidante, se obtuvo una mejora en la textura y una disminución en el contenido de calorías, grasas, y proteínas, con respecto al hummus convencional de garbanzo [\(Johnson et al., 2014\)](#).

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

El fruto de la planta de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es una vaina ligeramente curvada y dehiscente, de color verde, morada o casi negra, dependiendo de la variedad, y puede medir entre 10 y 12 cm. En su interior, las semillas pueden ser oblongas, ovales o redondas (depende de la variedad), poco comprimidas y de color café, negro, o moteadas café, rojo, o negro [\(SAGARPA, 2017\)](#).

El frijol común es uno de los alimentos de mayor importancia en México y en el mundo, debido a que es una buena fuente de nutrientes y energía. Sin embargo, en América latina donde su producción y consumo le han dado gran variedad de funciones socioeconómicas y de alimentación que le han permitido trascender, no sólo como un alimento por tradición, si no, como un aspecto cultural. Destaca que, su presencia dentro de la dieta de la población mexicana, iba enfocada para gente

tanto de altos como de bajos recursos ([Paredes-López, Guevara-Lara y Bello-Pérez, 2013](#)), no obstante, en los últimos años ha sido distribuido a los cinco continentes, adquiriendo gran relevancia en países desarrollados y subdesarrollados por su valor nutricional y su contenido de compuestos bioactivos ([Chávez-Mendoza y Sánchez, 2017](#)).

El frijol producido en México se usa para consumo nacional (89.24%), una parte se exporta a Estados Unidos (9.04%), otra a Canadá (1.45%) y China (0.22%). Un hecho a destacar, es que el consumo nacional de frijol ha ido descendiendo en los últimos treinta años, pasando de 16 kg por persona al año en 1980, a 10.4 kg *per cápita* por año en el año 2019. Este descenso se atribuye principalmente a la migración, el urbanismo, cambios en el poder adquisitivo de la población, la sustitución del frijol en grano por el frijol industrializado y la incorporación de la mujer en la actividad laboral ([FIRA, 2020](#); [Rodríguez-Licea et al., 2010](#)).

El frijol común está constituido principalmente por el cotiledón y testa (Figura 1). El cotiledón es el lóbulo esférico que rodea al embrión de la semilla, representa casi la totalidad del peso y del volumen del grano. Presenta una estructura altamente organizada compuesta de grandes gránulos esféricos de almidón (10 a 50 μm de diámetro) y pequeños cuerpos redondos de proteína (5 a 10 μm). Las paredes celulares del cotiledón contienen principalmente de una matriz de polisacáridos, tales como celulosa (25.9 – 30.9%), hemicelulosa (15.9 – 23.7%) y sustancias pécticas (28.5 – 41.2%). Las sustancias pécticas constituyen la mayor parte de la laminilla media, provocando un efecto de adhesión que mantiene juntas las células, definiendo a su vez, la permeabilidad y textura de la leguminosa y por ende, la calidad del procesamiento ([Reyes-Moreno y Paredes-López, 1993](#)).

La testa, es una barrera física que lo cubre y sirve para proteger el cotiledón del ambiente. Dentro de su composición se pueden detectar compuestos como celulosa (56.4 – 60.7%), hemicelulosa (17.4 – 25.8%), sustancias pécticas (11.1 – 15.9%), y lignina (1.4 – 1.9%), los cuales, le proporcionan algunas propiedades a la testa, principalmente dureza. El grosor y la permeabilidad son dos factores que se ven afectados por la presencia de los compuestos químicos ya mencionados, pero que

guardan una estrecha relación entre sí, es decir, mientras más delgada sea la testa, más rápido se hidratará la leguminosa (Reyes-Moreno y Paredes-López, 1993). La capacidad de hidratación adquiere gran relevancia, siendo una propiedad asociada con el tiempo y la facilidad de cocción, ambos, factores de calidad que la población busca en un frijol (Paredes-López, Guevara-Lara y Bello-Pérez, 2013).

Otros componentes estructurales del frijol, son el epicotilo, donde se alojan el tallo y las hojas; el hipocotilo, donde se aloja la punta del tallo embrionario; la radícula, donde se aloja la raíz embrionaria; y finalmente el hilio, que se encuentra justo en la superficie y es una cicatriz que queda cuando se separa de la vaina (Reyes-Moreno y Paredes-López, 1993). En la Figura 1 se pueden observar los componentes estructurales de un frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) tanto en el interior como en el exterior del mismo.

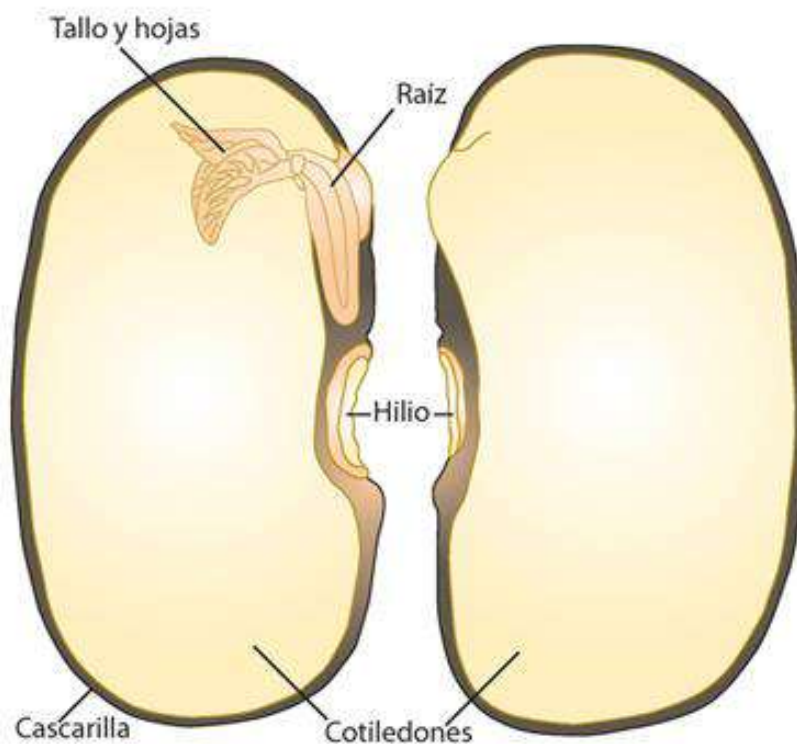


Figura 1. Estructura física del frijol común. (Paredes-López, Guevara-Lara y Bello-Pérez, 2013).

2.3.1.Composición química del frijol común

El frijol común es una fuente importante de energía y de nutrientes, por lo cual, es importante su consumo para mantener una dieta sana. Presenta un alto contenido de proteína, vitaminas (riboflavina, tiamina, niacina y vitamina B₆), y ciertos minerales (Ca, Fe, Cu, Zn, P, K, y Mg). A su vez, es fuente de carbohidratos y ácidos grasos poliinsaturados libres (linoleico y linolénico) (Reyes-Moreno y Paredes-López, 1993). Las proporciones en que los distintos nutrientes están presentes en el frijol, varían según el género, la especie, variedad y las condiciones agroclimáticas de la región de cultivo (Fernández-Valenciano y Sánchez-Chávez, 2017).

El frijol común también contiene componentes indeseables que deben ser removidos para su correcta utilización y consumo. Algunos de estos componentes son inhibidores enzimáticos, fitatos, factores flatulencia, compuestos fenólicos de le dan su sabor a “frijol”, hemaglutininas (lectinas), y alérgenos (Reyes-Moreno y Paredes-López, 1993).

2.3.1.1.Proteínas

El frijol común es buena fuente de proteína, aportando del 14 al 33% de su peso total. La aportación nutrimental de una porción de 90 g o media taza de frijol cocinado, es de 7 a 8 g de proteína, cerca del 15% de la ingesta diaria recomendada por la FAO para un adulto de 70 kg (Suárez-Martínez *et al.*, 2015). Esta proteína tiene una digestibilidad de 65 a 85% en el organismo, dependiendo de la variedad del frijol y el método de cocción. Sin embargo, presenta un bajo balance de aminoácidos que son compensados con otros alimentos, por ejemplo, cereales. La proteína de frijol es rica en lisina (6.4 – 7.6 g/100g de proteína), aminoácidos aromáticos (5.3 – 8.2 g/100 g proteína) y leucina (4.9 – 9.9 g/100 g proteína), no obstante, el valor biológico y nutrimental de la proteína de frijol, se ve negativamente afectado por un bajo contenido de aminoácidos azufrados, (cisteína y metionina). La baja disponibilidad de cisteína en la proteína de frijol se atribuye a la presencia de polifenoles, los cuales reaccionan con estos aminoácidos durante los procesos térmicos, formando cisteína biológicamente indisponible. Otros factores que pueden

afectar a la calidad de la proteína en frijol son la presencia de factores antinutricios, la estructura de la proteína, y los complejos que forme con almidón, minerales y hemicelulosa y otras proteínas (Chávez-Mendoza y Sánchez, 2017; Reyes-Moreno y Paredes-López, 1993). En el cuadro 2 se muestran los intervalos de concentración de los principales aminoácidos esenciales presentes en proteína de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), y sus respectivos consumos recomendados por la FAO.

Cuadro 2. Principales aminoácidos esenciales, presentes en proteína de frijol común y su consumo diario recomendado por la FAO.

Aminoácidos esenciales	Rangos (g/100 g de proteína)	Requerimientos mínimos diarios (adulto) (g/100 g de proteína)
Fenilalanina + Tirosina	5.3 – 8.2	6.3
Isoleucina	2.8 – 5.8	2.8
Leucina	4.9 – 9.9	6.6
Lisina	6.4 – 7.6	5.8
Metionina + Cisteína	1.2 – 1.5	2.5
Treonina	4.4 - 7.0	3.4
Triptófano	-	1.1
Valina	4.5 – 6.7	3.5

(Paredes-López, Guevara-Lara y Bello-Pérez, 2013).

La proteína de frijol está compuesta por 3 fracciones principales: faseolinas, lectinas y arcelinas. Las faseolinas son un tipo de proteína globular soluble en agua, con un punto isoeléctrico entre 5.6 y 5.8 de pH. Las lectinas son la fracción de proteína capaz de aglutinar glóbulos rojos de la sangre de diferentes animales. Se encuentran presentes del 6 al 12% en la leguminosa y tienen importantes funciones en plantas como la de anticuerpos contra bacterias del suelo, las protegen contra ataques de hongos, participan en el transporte de azúcares almacenados y se ha sugerido una acción contra patógenos en insectos. La arcelina, es una fracción pequeña de la proteína del frijol, que en estructura y función es muy similar a las

lectinas, aunque las arcelinas son mayormente globulares y tienen un punto isoeléctrico similar al de las faseolinas ([Reyes-Moreno y Paredes-López, 1993](#)).

2.3.1.2.Lípidos

La fracción de lípidos en el frijol común es la más pequeña de todas, entre 1.5 y 6.2%, dependiendo de la variedad. Se componen principalmente de acilglicéridos, pequeñas porciones de ácidos grasos libres (mono- y poliinsaturados), esteroides y ésteres de esteroides. Los fosfolípidos, que son componentes esenciales de las membranas celulares, también están presentes del 28 al 34% de los lípidos totales. El contenido de ácidos grasos es muy variable, destacando el contenido de ácidos grasos insaturados, tales como el oleico (7 al 10%), linoleico (21 al 28%) y linolénico (37 al 54%). A su vez, existe una fracción de ácidos grasos no saturados, entre los que destaca la presencia del ácido palmítico en rangos del 10 al 15% de lípidos totales ([Chávez-Mendoza y Sánchez, 2017](#); [Paredes-López, Guevara-Lara y Bello-Pérez, 2013](#)).

Los ácidos grasos poliinsaturados tales como el linoleico y el linolénico no pueden ser sintetizados por animales y humanos, por lo que su consumo es requerido para el crecimiento normal de la estructura celular, las funciones de los tejidos y para la síntesis de prostaglandinas. El efecto hipocolesterolémico de ratas, ha sido atribuido, en parte, al alto contenido de ácidos grasos poliinsaturados. Estos ácidos grasos pueden servir también como sustitutos de medicamentos antiinflamatorios, para el tratamiento de artritis reumatoide y también pueden tener propiedades inmunoestimuladoras ([Paredes-López, Guevara-Lara y Bello-Pérez, 2013](#)).

2.3.1.3.Carbohidratos

Uno de los mayores componentes del frijol común son los carbohidratos, presentes del 52 y hasta un 76% de peso seco total de la leguminosa. Dicha fracción, se compone principalmente de almidón, responsable de hasta el 50% del peso de la semilla, fibra dietética soluble e insoluble (del 14 al 19% de la composición total) y en menor proporción, algunos mono-, di- y oligosacáridos ([Chávez-Mendoza y Sánchez, 2017](#)). Hay una porción de carbohidratos de baja digestión y otra mayor

de carbohidratos no digeribles que son fermentados al llegar al intestino grueso. Los carbohidratos no digeridos que llegan al colon incluyen fibra dietética soluble e insoluble, almidón resistente y otros oligosacáridos no digeribles (Reynoso-Camacho, Ramos-Gomez y Loarca Piña, 2006).

La Asociación Estadounidense de químicos de Cereales (AACC por sus siglas en inglés) define la fibra dietética como “la parte comestible de las plantas o carbohidratos análogos que son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado que se fermentan total o parcialmente en el intestino grueso”. Esta clasificación incluye polisacáridos, oligosacáridos y lignina (Chávez-Mendoza y Sánchez, 2017).

La fibra dietética juega un papel crucial en la disponibilidad de carbohidratos, la escisión de almidón y en el índice glucémico de los alimentos (Chávez-Mendoza y Sánchez, 2017). Se sabe que los valores de fibra en el frijol común van de 14 al 19%, valores significativamente más altos que el del garbanzo (*Cicer arietinum* L.) de 12.2% (Wallace, Murray y Zelman, 2016). Algunos de los beneficios a la salud derivados del consumo de la fibra dietética del frijol, principalmente la soluble, son el manejo del peso corporal debido a que da saciedad, prevención y tratamiento de diabetes tipo 2, la reducción de colesterol en sangre, menor riesgo de enfermedades cardiacas, mayor volumen fecal, menor tiempo de tránsito intestinal, menor riesgo de cáncer de colon y mejor tolerancia a la glucosa y el síndrome metabólico (Chávez-Mendoza y Sánchez, 2017; Tiwari, Gowen y McKenna, 2011). Huang y Zhang (2015), reportaron que en personas que frecuentemente consumen fibra en su dieta la tasa de mortalidad por enfermedades cardiovasculares, digestivas, infecciosas, inflamatorias y cáncer disminuyó en 23, 68, 58, 43 y 17%, respectivamente. A su vez, ratas con cáncer colorrectal inducido han desarrollado cuatro veces menos tumores cuando son alimentadas con frijol común de distintas variedades (pinto, negro y blanco). Lo anterior sugiere un efecto protector de la fibra dietética (Reynoso-Camacho *et al.*, 2007).

La fibra dietética se clasifica en soluble y no soluble, de acuerdo con su solubilidad durante su extracción y aislamiento en una solución enzimática con pH controlado, la cual representa la enzima alimentaria humana. La fibra dietética soluble incluye

oligosacáridos, fructo-oligosacáridos, pectinas, β -glicanos, gomas de galactomanano y alginato, siendo algunos de ellos no digeribles por las amilasas lo que les permite llegar hasta el colon donde son digeridos por la microbiota asociada (Chávez-Mendoza y Sánchez, 2017). La fibra no soluble contiene principalmente celulosa, hemicelulosa, almidón resistente y lignina. Como resultado de la cocción, ocurre una ligera disminución en la fibra dietética soluble y un marcado aumento de la fibra dietética no soluble (Chávez-Mendoza y Sánchez, 2017; Reyes-Moreno y Paredes-López, 1993). El Cuadro 3 ejemplifica los cambios en la fibra dietética soluble y no soluble de dos variedades de frijol, antes y después del proceso de cocción.

El almidón presente en el frijol puede clasificarse como digerible y resistente. El primero es fácilmente digerido en el intestino delgado debido a la gelatinización llevada a cabo durante el proceso de cocción, lo que lo hace más susceptible al efecto enzimático. El almidón resistente es aquél que no se absorbe en el intestino delgado, pero es fermentado en el intestino grueso. Una vez en el intestino grueso, y como producto de su fermentación, se obtienen ácidos grasos de cadena corta como el ácido acético, propiónico, butírico, y ácido succínico, dándole propiedades benéficas similares a las de la fibra dietética. Se ha reportado que el contenido de almidón resistente depende de la variedad. Por ejemplo, el frijol Bayo Madero contiene 37%, mientras que el Pinto Durango o el Negro 8025, contienen 28 y 32%, respectivamente (Chávez-Mendoza y Sánchez, 2017; Paredes-López, Guevara-Lara y Bello-Pérez, 2013).

Cuadro 3. Cambios en el porcentaje de carbohidratos, la fibra dietética soluble y no soluble de cuatro variedades de frijol común.

	Polisacáridos (%)	Fibra insoluble (%)	Fibra soluble (%)
Negro 8025			
Crudo	37.6±3.5	36.1±1.9	1.6±0.7
Cocinado	48.1±2.5	37.5±2.5	11.0±0.0
Bayo Madero			
Crudo	25.6±3.5	25.2±2.7	0.6±0.3
Cocinado	55.0±2.0	41.0±0.0	14.0±0.5

Pinto Durango			
Crudo	28.3±1.5	28.2±0.8	0.3±0.0
Cocinado	36.5±0.5	31.1±0.5	5.5±0.0
Azufrado Higuera			
Crudo	30.1±1.4	29.3±0.8	1.0±0.0
Cocinado	42.2±1.5	31.0±1.5	11.0±0.0

(Campos-Vega *et al.*, 2009).

Finalmente, la fracción de oligosacáridos no digeribles están presentes del 2 al 6% en los carbohidratos totales. Se componen de varios oligosacáridos, entre los que se encuentran la rafinosa (O- α -D-galactosa-(1.6)-sacarosa), estaquinosa (O- α -D-galactosa-(1.6)-rafinosa) y verbascosa (O- α -D-galactosa-(1.6)-estaquinosa) y son considerados prebióticos porque su hidrólisis ocurre en el colon y su fermentación lleva a la producción de ácidos grasos de cadena corta (Acetato, Propionato y Butirato), los cuales funcionan como nutrientes celulares importantes (Badui-Dergal, 2013). Dichos ácidos grasos, son de interés para la salud. El ácido butírico, por ejemplo, funciona como recubrimiento y generador de mucosa normal para el epitelio del colon, y también induce la apoptosis, combatiendo el cáncer de colon; el ácido propiónico llega vía venosa al hígado inhibiendo la síntesis de sales biliares y por ende, la síntesis *de novo* de colesterol; el ácido acético baja el pH del colon, favoreciendo la proliferación de bacterias ácido-lácticas (Campos-Vega *et al.*, 2009; Chávez-Mendoza y Sánchez, 2017). A su vez, el frijol es conocido como generador de flatulencias, puesto que las bacterias intestinales metabolizan algunos azúcares no digeribles, tales como estaquinosa, rafinosa y verbascosa, generando dióxido de carbono, metano e hidrógeno. Debido a que son hidrosolubles se pueden eliminar parcialmente de la semilla mediante un remojo prolongado que resulta mejor si se hace en caliente. (Badui-Dergal, 2013; Chávez-Mendoza y Sánchez, 2017).

2.3.1.4. Vitaminas y minerales

El frijol común crudo es una buena fuente de vitaminas solubles, especialmente tiamina (8.6 a 11.4 mg/kg frijol), riboflavina (1.36 a 2.66 mg/kg frijol), niacina (11.6 a 26.8 mg/kg frijol), vitamina B₆ (3.36 a 6.36 mg/kg frijol) y ácido fólico (1.71 mg/kg frijol). A su vez, contiene algunos cationes de importancia biológica como el calcio (0.13 a 0.28 mg/kg), el magnesio (0.2 a 0.26 mg/kg), el potasio (0.8 a 1.43 mg/kg) y

el hierro (60 mg/kg). Otros minerales importantes para el consumo humano son cobre (18 mg/kg), manganeso (23 mg/kg), zinc (29 mg/kg) y azufre (234 mg/kg). Sin embargo, debido a la solubilidad que estos componentes tienen, la cocción a presión y el remojo previo, afectan su retención en la matriz, por ello, las semillas cocidas deben complementarse con el caldo en el cual se cocinan. La retención de estos nutrientes en la matriz durante el proceso de cocinado va desde 70.9 hasta el 75.9% (Carvalho *et al.*, 2012; Reyes-Moreno y Paredes-López, 1993), aunque puede llegar al 78.9% para el caso de cobre y hasta un 100% para el caso del calcio (Paredes, Becerra y Tay, 2009).

El alto contenido de minerales del frijol debe considerarse junto con su disponibilidad biológica, debido a que el exceso de azúcares en la dieta, y la presencia de taninos y ácido fítico, son algunas de las razones por las que algunos minerales (hierro y zinc) no estén disponibles biológicamente para ser correctamente absorbidos en el organismo, derivando en condiciones de anemia. Por otro lado, una porción de 100 g de frijol aporta casi el contenido diario recomendado para niños y adultos de tiamina, ácido fólico y vitamina B, evitando problemas como fatiga, irritabilidad, pérdida de peso, perturbaciones gastro intestinales, complicaciones cardiovasculares y anemia (Paredes-López, Guevara-Lara y Bello-Pérez, 2013; Reyes-Moreno y Paredes-López, 1993).

2.3.1.5. Compuestos bioactivos

Además de los macro- y micronutrientes, el frijol común contiene compuestos fitoquímicos, cuya concentración varía dependiendo de las condiciones de estrés a las que se haya sometido el grano. Este tipo de compuestos, también llamados bioactivos, poseen una estructura química donde se observa la presencia de anillos fenólicos, dobles enlaces y grupos hidroxilo, los cuales provocan que estos compuestos tengan propiedades biológicas importantes como antioxidantes, antiinflamatorias, antimutagénicas e incluso anticarcinogénicas (Chávez-Mendoza y Sánchez, 2017; Paredes, Becerra y Tay, 2009). Debido a su estructura química, estos compuestos también son solubles, por lo que procesos como el remojo, maceración o cocción, podrían afectar el contenido de compuestos bioactivos en el

frijol (Reyes-Moreno y Paredes-López, 1993; Rocha-Guzmán *et al.*, 2013). Asimismo, los compuestos bioactivos son inestables a condiciones de elevada temperatura, por lo que es posible inactivarlos en cocción durante 15 minutos a presión atmosférica, o bajo presión durante 7.5 minutos (Lajolo y Genovese, 2002), sin embargo, ni el calor seco, ni los hornos de microondas convencionales son tan efectivos para lograr este mismo propósito (González de Mejía y Prisecaru, 2005).

Los compuestos polifenólicos son el grupo de compuestos bioactivos más representativo en el frijol común. Son un grupo muy diverso de compuestos, donde es posible encontrar desde simples moléculas, hasta polímeros complejos. Están constituidos principalmente de uno o más anillos aromáticos con presencia de varios grupos hidroxilo. Estos compuestos se encuentran principalmente en la testa, provocando la pigmentación de la misma (Chávez-Mendoza y Sánchez, 2017; Reynoso-Camacho, Ramos-Gomez y Loarca Piña, 2006). Entre los principales compuestos fenólicos se encuentran los flavonoides, como glucósidos de flavonol, las antocianinas y los taninos condensados (proantocianidinas), aunque se sabe que la presencia de antocianinas solo se ha reportado en frijoles negros, azul-violeta, rojos y rosas (Reynoso-Camacho, Ramos-Gomez y Loarca Piña, 2006; Reynoso-Camacho, Ramos-Gomez y Loarca Piña, 2006). La concentración de estas moléculas puede variar según las condiciones de almacenamiento de la semilla; en este sentido, Mujica Granito y Soto (2012), reportaron una reducción significativa en el contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de frijoles mexicanos almacenados a una HR de 75% y temperatura de 37°C comparados con otros almacenados a una HR de 34% y 5°C, todos almacenados por 120 días. Debido a que estos compuestos son altamente termosensibles, sufren cambios estructurales a altas temperaturas, como la de cocción, lo cual dificulta su cuantificación. Almanza-Aguilera *et al.* (2006), analizaron 16 genotipos de frijol negro, demostrando una disminución de alrededor del 50% de los compuestos fenólicos totales luego de aplicar un proceso de cocción, pasando de un intervalo entre 503.2 y 1062 mg/100 g en el frijol crudo a un rango de 210 a 711 mg/100 g en el frijol cocido. Los compuestos fenólicos del frijol común exhiben una gran capacidad antioxidante, la cual es dependiente de la estructura química de cada

componente particular. En este sentido, se sabe que algunas moléculas que se pueden encontrar en un extracto etanólico de frijol común como la cianidina 3-O-p-glucósido, muestra una actividad antioxidante mayor a condiciones neutras (pH 7), en comparación con la pelargonidina 3-O-P-D-glucósido, cuya actividad antioxidante óptima es a condiciones ácidas (pH 3) (Reynoso-Camacho, Ramos-Gomez y Loarca Piña, 2006).

Se ha reportado que el consumo de compuestos fenólicos provenientes de frijol, tiene un efecto significativo contra algunos padecimientos, como lo son los provocados por las ECDNTs. En ese sentido, Venkateswaran y Pari (2002), reportaron efectos benéficos en el tratamiento de la diabetes inducida por estreptozotocina en ratas, mediante la administración oral de un extracto acuoso rico en compuestos fenólicos de *Phaseolus vulgaris* (200 mg/kg de peso corporal) durante 45 días. Al finalizar el tratamiento, se pudo observar una disminución significativa de especies reactivas utilizando el método de ácido tiobarbitúrico y las sustancias reactivas al hidroperóxido. También hubo un aumento significativo en la reducción de glutatión, superóxido dismutasa, catalasa, glutatión peroxidasa y glutatión S-transferasa en el hígado y riñones. Cabe destacar que el extracto fue más efectivo que la glibenclamida, un medicamento comúnmente usado en la disminución de los niveles de glucosa. En otro experimento, Hernández-Saavedra *et al.* (2013), reportan efectos similares, al suministrar una dieta suplementada con harina de frijol negro 8025 (25%) a un grupo de ratas con diabetes inducida (grupo de tratamiento) y otro sin diabetes inducida (grupo preventivo). El grupo de tratamiento presentó una disminución significativa de glucosa en sangre (22.8%), triglicéridos (21.9%), colesterol total (29.9%) y lipoproteínas de baja densidad (LDL) (56.1%). Mientras tanto, el grupo preventivo no presenta disminución significativa de glucosa, sin embargo, si hubo una disminución de colesterol total y LDL (47.5% y 56.1%, respectivamente).

2.4.Extrusión de alimentos

La extrusión en alimentos es una tecnología emergente usada para la cocción de los mismos. Dicha cocción, se logra mediante la aplicación de altas temperaturas

durante cortos periodos de tiempo que, junto con otros factores como la humedad del alimento, altas presiones y el esfuerzo mecánico provocado por un tornillo sin fin, se obtienen una serie de transformaciones moleculares en el alimento (Castells *et al.*, 2005; Reyes-Moreno *et al.*, 2012). Debido a lo anterior, se sabe que la extrusión en alimentos atiende algunos de los problemas presentes en un proceso de cocción tradicional, tales como el deterioro de algunos compuestos de importancia biológica, los cuales llevan a una pérdida de la calidad nutricional del alimento (Guy, 2001).

La extrusión ofrece diversas ventajas como proceso, tales como versatilidad, alta productividad, bajos costos de operación y mayor eficiencia energética (Reyes-Moreno *et al.*, 2012). Además, mediante el intenso esfuerzo mecánico de cizalla, se rompen algunos enlaces covalentes en biopolímeros, lo que da paso a cambios estructurales que modifican algunas propiedades de interés en ingredientes, como lo son la retención de agua o aceite (Carvalho y Mitchelle, 2000). Por otro lado, la extrusión permite la inactivación de algunos factores antinutricionales (inhibidores de tripsina, hemaglutininas, taninos y fitatos), esteriliza el producto terminado y permite conservar olores y sabores propios del alimento (Bhandari, D'Arcy y Young., 2001).

Además de los beneficios anteriormente mencionados, la extrusión provoca otros cambios estructurales que dan paso a productos de mejor calidad nutricional. Por ejemplo, los almidones se gelatinizan a niveles más bajos de humedad (12 – 20%) que en un proceso de cocción convencional, volviéndolos más digeribles. Otro ejemplo es que, bajo condiciones severas de procesamiento, como bajas humedades (<20%), altas revoluciones del tornillo (>150 rpm) y altas temperaturas (>160°C), se logra incrementar el contenido de fibra dietaria total, ya que se facilitan procesos como el cambio de fibra insoluble a soluble y la formación de almidón resistente y glucanos indigeribles mediante glicosilación (Singh, Gamlath y Wakeling, 2007; Vasanthan *et al.*, 2002). Por otro lado, la inactivación de factores antinutricios y la desnaturalización de proteínas que se lleva a cabo en los procesos

de extrusión, llevan a un incremento en la digestibilidad de estas, incrementando su calidad nutricional para adultos ([Singh, Gamlath y Wakeling, 2007](#)).

Debido a las ventajas que la extrusión presenta como proceso, esta se ha posicionado como una opción viable para aplicarse en la producción de diversos productos tales como cereales listos para consumir, botanas dulces y saladas, materiales texturizados similares a la carne, mezclas nutritivas para alimentación infantil, productos de confitería, alimentos secos para mascotas y alimento para peces ([Eastman, Orthofer y Solorio, 2001](#)). Sin embargo, son las modificaciones moleculares, nutricionales y funcionales en el alimento lo que vuelven a la extrusión una opción atractiva para producir alimentos nutricionalmente balanceados o enriquecidos, atractivos para personas interesadas en controlar o disminuir su peso, o simplemente para aquellas que buscan mejorar su dieta ([Plahar, Onuma Okezie y Gyato 2003](#)).

3. Justificación.

La sociedad actual ha modificado sus hábitos de vida en los últimos cuarenta años, derivando en la falta de actividad física y una alimentación deficiente de nutrientes. Lo anterior, se puede atribuir a la adopción de hábitos alimenticios provenientes de países desarrollados, atractivos porque incluyen alimentos “listos para consumir” rápidos de preparar y productos industrializados, con una alta carga calórica y bajo valor nutrimental. Lo anterior, conduce al incremento del riesgo de padecer varias enfermedades crónicas degenerativas no transmisibles (ECDNTs), tales como las dislipidemias, sobrepeso, enfermedades cardiovasculares, diabetes tipos 2, cáncer, entre otras.

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es una semilla de alta producción en México, pero cuyo consumo ha ido disminuyendo en las últimas décadas. Es un producto de alto valor nutrimental por su contenido de proteína, carbohidratos, fibra, aceites esenciales, y compuestos fenólicos que le dan propiedades nutracéuticas como antioxidantes, antimutagénicas y antiproliferativas, que ayudan a reducir el riesgo de padecer ECDNTs. Por ello, se propone la fabricación de un producto tipo hummus a base de Frijol común, para aprovechar su valor nutrimental y las propiedades nutracéuticas, ofreciendo una alternativa de alimento que puede ser usado como botana o colación hipocalórica y con ello la oportunidad de recuperar el consumo de frijol, mejorar la dieta y reducir riesgos a la salud de la sociedad mexicana.

4. Objetivos

4.1. Objetivo general:

- Desarrollar un producto tipo hummus a base de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) con un perfil nutrimental similar a un hummus comercial y reducido en calorías.

4.2. Objetivos específicos:

- Obtener una formulación de hummus sustituyendo el garbanzo por el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.).
- Caracterizar y comparar el perfil proximal, nutracéutico y físico-químico del tipo de hummus obtenido con un hummus de garbanzo comercial.

5. Materiales y Métodos.

5.1. Materiales

5.1.1. Compuestos químicos

Los reactivos de uso general fueron adquiridos en Sigma-Aldrich o en JT Baker: acetonitrilo, ácido acético, acetona, ácido clorhídrico (HCl), ácido sulfúrico (H₂SO₄), ácido bórico (H₃BO₃) anaranjado de metilo, 2,2-azinobis 3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico (ABTS), 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH), etanol, éter de petróleo, Folin-Ciocalteu, fosfato dibásico de potasio (K₂HPO₄), fosfato monobásico de potasio (KH₂PO₄), acetato de sodio (C₂H₃NaO₂), hidróxido de potasio (KOH), hidróxido de sodio (NaOH), metanol, persulfato de potasio (K₂S₂O₈), proteasa, α-amilasa, amilogucosidasa verde de bromocresol, sulfato de cobre (CuSO₄), sulfato de sodio (Na₂SO₄), carbonato de sodio (Na₂CO₃), agua destilada, agua grado HPLC, 2-aminoetilendifenilborato, agar tripton, agar papa/dextrosa, agar verde brillante y solución metanólica de vainillina al 1%.

Estándares comerciales de Sigma-Aldrich: tirosol, rutina, ácido clorogénico, ácido cumárico, ácido ferúlico, ácido gálico, ácido hidroxibenzóico, ácido quínico, (±)-catequina, diosgenina y 6-hydroxy-2, 5, 7,8-tetrametilcroman-2-ácido carboxílico (trolox).

5.1.2. Materia prima

Se trabajó con frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad Bayo Madero previamente seleccionado y libre de impurezas, obtenido en el INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias), Campo Experimental Bajío.

5.2.Métodos

5.2.1.Cocción del frijol

5.2.1.1.Cocido tradicional

Para llevar a cabo la cocción tradicional del frijol se siguió la metodología propuesta por Aparicio-Fernández *et al.* (2005). Brevemente, el frijol entero fue sometido a una hidratación previa hasta alcanzar una humedad de $50 \pm 5\%$. Posteriormente, se trabajó una relación de 1:4 de frijol:agua a una temperatura de 95°C (temperatura de ebullición) durante 2.5 horas. Una vez terminada la cocción, el producto fue almacenado a una temperatura de 4°C hasta el momento de la preparación del hummus.

5.2.1.2.Cocido por extrusión

La cocción por extrusión se llevó a cabo usando la metodología de Cervantes-Ramírez *et al.* (2020), con algunas modificaciones. El frijol entero (cotiledones y testa) fue hidratado hasta alcanzar una humedad de $50.30 \pm 0.85\%$. Posteriormente, se hizo pasar por un extrusor de tornillo sencillo con una relación de compresión de 1:1, con diámetro de 1 pulgada acoplado a un dado con orificio de 5 mm. El proceso se llevó a cabo usando una velocidad de tornillo de 10 revoluciones por minuto (rpm), una temperatura de precalentamiento de 60°C y una temperatura de cocción de 120°C . El producto a la salida del extrusor se secó en un horno de convección a 60°C durante 4 horas para luego ser molido y tamizado a un tamaño de partícula de $250 \mu\text{m}$. El producto final se almacenó a 4°C hasta el momento de la preparación del hummus.

5.2.2.Caracterización Proximal

5.2.2.1.Determinación de humedad

La humedad se determinó mediante el método 925.10 de la AOAC (2002). En un crisol, previamente puesto a peso constante, se pesaron 3 g de muestra. El crisol junto con la muestra, se pusieron en una estufa a una temperatura de 130°C por tres horas para luego ser enfriados en el desecador por 40 minutos. Posteriormente,

se obtuvieron el peso del crisol junto la muestra y se realizó el cálculo correspondiente.

$$\% \text{ Humedad} = \frac{100[(W_1 + W_2) - W_3]}{W_3}$$

Donde:

W_1 = Peso del crisol a peso constante (g).

W_2 = Peso de la muestra (g).

W_3 = Peso final de la muestra con el crisol (g).

5.2.2.2.Determinación de cenizas

El contenido de cenizas se determinó mediante el método 923.03 de la AOAC (2002). Se pesó sobre un crisol previamente puesto a peso constante, de 3 a 4 g de muestra que fueron calcinados en una mufla a 550°C hasta la aparición de cenizas blancas. Una vez obtenidas las cenizas, la muestra final se colocó en el desecador durante 40 minutos. Finalmente, la muestra fue pesada y registrada.

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{100[(W_1 + W_2) - W_3]}{W_2}$$

Donde:

W_1 = Peso del crisol a peso constante (g).

W_2 = Peso de la muestra (g).

W_3 = Peso final de la muestra con el crisol (g).

5.2.2.3.Determinación de lípidos

El contenido de lípidos se determinó mediante el método 920.39 de la AOAC (2002). Se pesaron 3 g de muestra en un cartucho de celulosa. El cartucho se selló por la parte superior con un algodón, para ser depositado dentro de un extractor soxhlet. Se añadió solvente orgánico (éter de petróleo) a un matraz, previamente puesto a peso constante, hasta que cubrió la muestra. Se calentó suavemente el sistema

hasta el primer sifoneo. Posteriormente, se mantuvo la extracción a un flujo de 10 reflujos durante 4 horas. Pasado ese tiempo, el matraz fue secado en la estufa a 100°C durante 12 horas para retirar residuos de solvente. A continuación, el vaso se pasó al desecador durante 40 minutos para enfriarse. Para finalizar, se pesó el matraz y se realizarán los cálculos correspondientes:

$$\% \text{ Lípidos} = \frac{100[(W_1 + W_2) - W_3]}{W_2}$$

Donde:

W_1 = Peso del inicial del matraz a peso constante (g).

W_2 = Peso de la muestra (g).

W_3 = Peso final del matraz con los lípidos (g).

5.2.2.4. Determinación de proteínas

El contenido de proteína se determinó mediante el método 954.01 de la AOAC (2002). El procedimiento se llevó a cabo en dos partes: la digestión y la destilación. Para la digestión, se pesó 1 g de muestra junto con los catalizadores; 3.5 g de Na_2SO_4 y 0.4 g de CuSO_4 . Tanto la muestra como los catalizadores fueron depositados en un tubo de digestión Kjéndhal junto con 15 mL de H_2SO_4 concentrado. Otro tubo igual al anterior fue preparado sin muestra (blanco). Los tubos se colocaron en la plancha del digestor. Se calentó el sistema gradualmente hasta alcanzar los 400°C. Se calentó hasta obtener una solución azul o verde turquesa. El tubo con la muestra se dejó enfriar para luego añadir 100 ml de agua destilada por las paredes del mismo. Para la parte de destilación, se adicionaron 50 ml de NaOH al 40% a los tubos Kjéndhal para ser colocarlos en el destilador. El destilado fue recogido en un matraz Erlenmeyer de 250 mL con 25 ml de una solución de H_3BO_3 al 0.2 N y sus indicadores (rojo de metilo y verde de bromocresol) hasta obtener un volumen aproximado de 150 mL en el matraz. Posteriormente el destilado se tituló usando HCl al 0.1 N previamente valorado. El nitrógeno total se multiplicó por 5.7, factor de conversión equivalente al porcentaje de proteína total del alimento. Los cálculos a realizar, fueron los siguientes:

$$\% \text{ Nitrógeno} = \frac{(A - B) * C * 1.401}{D}$$

$$\% \text{ Proteína} = \% \text{ Nitrógeno} * 5.7$$

Donde:

A = Volumen de HCl gastado para titular la muestra (mL).

B = Volumen de HCl gastado para titular la solución blanco (mL).

C = Concentración del HCl empleado en las titulaciones (mL).

D = Peso de la muestra (g).

5.2.2.5.Determinación de Carbohidratos

Los carbohidratos fueron calculados mediante la siguiente diferencia de los demás macronutrientes, así como humedad y cenizas. El cálculo a realizar fue el siguiente:

$$\% \text{ Carbohidratos} = 100 - \% \text{ Humedad} - \% \text{ Cenizas} - \% \text{ Lípidos} - \% \text{ Proteína}$$

5.2.3.Caracterización nutracéutica

5.2.3.1.Determinación de fibra dietética

La fibra dietética total fue determinada mediante la suma de la cantidad de fibra soluble e insoluble. El cálculo es el siguiente:

$$\% \text{ Fibra dietética total} = \% \text{ Fibra dietética soluble} + \% \text{ Fibra dietética insoluble}$$

5.2.3.1.1.Determinación de fibra dietética insoluble

La determinación de fibra dietética insoluble se realizó mediante la metodología propuesta por Shiga, Lajolo y Filisetti (2003). Se colocó 1 g de muestra previamente desgrasada y tamizada (Malla número 60) en un matraz Erlenmeyer y se adicionaron 50 mL de Buffer de fosfatos 0.08 M a un pH de 6. A continuación, se agregaron 100 µL de α-amilasa, se protegió el matraz de la luz, para posteriormente incubar el matraz en baño María a 95°C durante 30 minutos, recibiendo agitación cada 5 minutos. Al terminar, el matraz se dejó enfriar a temperatura ambiente, para luego adicionar una solución de NaOH 0.275 N hasta alcanzar un pH de 7.5.

posteriormente, se agregaron 100 μL de la enzima proteasa a 5 mg/mL de concentración y se incubó a 60°C, recibiendo agitación constante durante 30 minutos. Pasado ese tiempo, el matraz se dejó enfriar a temperatura ambiente y se ajustó a un pH de 4 utilizando HCl 0.275 N, para luego adicionar 300 μL de amiloglucosidasa. El matraz fue incubado a 60°C, recibiendo agitación constante durante 30 minutos. Al terminar, el contenido del matraz se filtró usando un papel Whatman no. 4, y se hicieron 2 lavados con 15 mL de agua caliente (60°C) y 2 lavados usando 15 mL de etanol al 80%. La solución filtrada se conservó para la determinación de fibra soluble. El papel filtro se secó durante 24 horas a 60°C. El sólido atrapado en el filtro será la fibra insoluble y se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Fibra dietética insoluble} = \frac{100(W_2 - W_1)}{W_3}$$

Donde:

W_1 = Peso del papel filtro (g).

W_2 = Peso final del papel filtrado (g).

W_3 = Peso de la muestra (g).

5.2.3.1.2. Determinación de fibra soluble

La solución filtrada obtenida en la determinación de fibra insoluble, se le adicionó un volumen igual de etanol al 80% y se mantuvo en reposo durante 24 horas. Pasado ese tiempo, la solución se filtró usando un papel Whatman no. 42. Se realizaron 2 lavados usando 15 mL de etanol al 80% y 2 lavados con 15 mL de acetona. Finalmente, el papel filtrado fue puesto a secar durante 24 horas a 60°C y se registró su peso final. El porcentaje de fibra soluble fue calculado mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Fibra dietética insoluble} = \frac{100(W_2 - W_1)}{W_3}$$

Donde:

W_1 = Peso del papel filtro (g).

W_2 = Peso final del papel filtrado (g).

W_3 = Peso de la muestra (g).

5.2.3.2. Determinación de almidón resistente

La determinación de almidón resistente se realizó mediante la metodología descrita por Saura-Calixto *et al.* (1993). Con algunas modificaciones. En un matraz Erlenmeyer se pesaron 100 mg de los sólidos obtenidos en la determinación de fibra dietética insoluble. Al matraz se adicionaron 6 mL de KOH a una concentración de 2 M, para posteriormente ser incubado a 25°C por 30 minutos con agitación continua. Pasado ese tiempo, al matraz se agregaron 3 mL de buffer de acetato de sodio 0.4 M (pH 4.75) junto con 60 µL de la enzima amiloglucosidasa, para después incubarlo a 60°C durante 30 minutos con agitación continua. Al terminar, el contenido se enfrió a temperatura ambiente y se centrifugó a 1000 rpm durante 15 minutos, recuperando el sobrenadante. Se realizaron dos lavados a la pastilla con 10 mL de agua grado HPLC y se centrifugó a las mismas condiciones. El sobrenadante recuperado se rotoevaporó hasta quedar aproximadamente 5 mL para luego aforarse a 10 mL. La muestra fue cuantificada por un kit de glucosa oxidasa/peroxidasa, para la cual se colocaron en una placa 50 µL de la muestra o estándar y 100 µL del reactivo del ensayo (incluido en el kit). La microplaca se incubó a 37°C por 30 min, para posteriormente agregar 100 µL de ácido sulfúrico 12 N con el objetivo de detener la reacción. La detección se realizó a una longitud de onda de 540 nm. La curva de medición se realizó usando diferentes concentraciones de glucosa provenientes de una solución patrón incluida en el kit

$$\% \text{ Almidón resistente} = \frac{90 * A * B * C}{D}$$

Donde:

A = Cantidad de glucosa ($\mu\text{g/mL}$).

B = Volumen de aforo (mL).

C = Factor de dilución.

D = cantidad de muestra (mg).

5.2.3.3.Extracción de compuestos fenólicos libres

La extracción de compuestos fenólicos se realizó mediante la metodología propuesta por Cardador-Martínez, Castaño-Tostado y Loarca-Piña., (2002), con ligeras modificaciones. Se colocó 1 g de muestra previamente deshidratada, desgrasada y tamizada (Malla número 60), en un matraz Erlenmeyer protegido de la luz. Al matraz se adicionaron 10 mL de metanol y una barra magnética para luego ser sometido a centrifugación (2166 G) durante 24 horas a una temperatura de 16°C. El sobrenadante fue recuperado y almacenado a 4°C, protegiéndolo de la luz hasta el momento de análisis.

5.2.3.4.Determinación de fenoles totales

La determinación de fenoles totales se realizó mediante la metodología propuesta por Singleton & Rossi (1965). En viales ámbar se mezclaron 50 μL de muestra, 250 μL de agua grado HPLC y 125 μL de reactivo de Folin-Ciocalteu (1:1). Los viales fueron sometidos a agitación constante en el vórtex durante 5 minutos. Al terminar, se añadieron 625 μL de Na_2CO_3 (70 g/L) y los viales se incubaron en la oscuridad por 2 horas. El blanco fue preparado usando 50 μL del solvente usado en la muestra. La reacción fue leída a una longitud de onda de 760 nm y los resultados se compararon contra una curva de calibración elaborada con ácido gálico (0-500 $\mu\text{g/mL}$) como estándar. El contenido de fenoles totales se expresó como mg equivalentes de ácido gálico por gramo de muestra.

5.2.3.5.Determinación de flavonoides totales

La determinación de flavonoides se llevó a cabo de acuerdo a la metodología sugerida por Oomah, Cardador-Martínez & Loarca-Piña (2005). Se mezclaron 50 µL del extracto metanólico con 180 µL de metanol y 20 µL de solución de 2-aminoetilendifenilborato (10 mg/mL), los cuales fueron depositados en una placa de 96 pozos. La reacción fue leída a una longitud de onda de 404 nm y los resultados fueron comparados con una curva de calibración elaborada con rutina (0-500 µg/mL) como estándar. Los resultados se expresaron en miligramos equivalentes de rutina por mililitro de muestra.

5.2.3.6.Determinación de taninos totales

La determinación de taninos se llevó a cabo mediante la metodología sugerida por Deshpande y Cheryan (1985), adaptada en microplaca por Feregrino-Pérez *et al.* (2008). En una placa de 96 pozos se mezclaron 50 µL de extracto metanólico junto con 200 µL de vainillina (0.5% vainillina y 4% HCl en metanol). Se preparó un blanco con 50 µL de metanol y 200 µL de HCl (4%). La reacción se leyó a una longitud de onda de 492 nm y los resultados se compararon contra una curva de calibración elaborada con (+)-catequina (0.1-0.8 µg/mL) como estándar. Los resultados se expresaron en miligramos de equivalentes de (+)-catequina por mililitro de muestra.

5.2.3.7.Determinación de capacidad antioxidante

5.2.3.7.1.Capacidad antioxidante mediante DPPH

La determinación de la capacidad antioxidante se realizó mediante la metodología propuesta por Fukumoto y Mazza, (2000), con una adaptación de lectura en microplaca. En una microplaca de 96 pozos se añadieron 20 µL del extracto metanólico previamente obtenido y se mezclaron con 200 µL de solución DPPH. El control fue preparado usando 20 µL de metanol y 200 µL de solución DPPH. Las lecturas se obtuvieron a 0, 4, 10, 30, 60 y 90 minutos a una longitud de onda de 520 nm. Los resultados fueron comparados con una curva de calibración elaborada con

trolox (0-800 μM) como estándar. Los resultados se expresaron como μmol equivalente de trolox/g de muestra.

5.2.3.7.2.Capacidad antioxidante mediante ABTS

La determinación de la capacidad antioxidante mediante ABTS en microplaca se realizó usando la metodología descrita por Nenadis, *et al.* (2004). Se preparó una solución acuosa 7 mM de ABTS y una solución de $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ 140 mM, con las cuales se hizo una mezcla usando 5 mL y 88 μL , respectivamente. La mezcla anterior, se protegió de la luz y se dejó en reposo durante 12 horas con el fin de generar el radical positivo. Pasado ese tiempo, a la solución se le adicionaron de 20 a 25 mL de etanol hasta bajar la absorbancia a valores entre 0.7 y 1, en una longitud de onda de 734 nm. Posteriormente, en una placa de 96 pozos se agregaron 20 μL de muestra y en otro pozo se agregó un control con 20 μL de metanol. A cada pozo se adicionaron 230 μL de la solución de ABTS antes de realizar las lecturas. Los resultados fueron comparados contra una curva de calibración elaborada con trolox (0-800 μM) como estándar. Los resultados se expresaron como μmol equivalente de trolox/g de muestra.

5.2.4.Digestibilidad *in vitro*

5.2.4.1.Digestibilidad *in vitro* de proteína

La determinación de la digestibilidad de proteína *in vitro*, se realizó mediante la metodología propuesta por Hsu *et al.* (1977). En un matraz Erlenmeyer, se depositaron 50 mL de una solución acuosa de que contenga la suficiente cantidad de muestra para que alcance una concentración de proteína de 6.25 mg de proteína/mL. Se ajustó el pH de la solución a 8, mediante HCl o NaOH 0.1 N. Posteriormente se calentó en baño María a 37°C y agitación constante. Una vez alcanzada la temperatura, se adicionaron 5 mL de una solución multienzimática ajustada a pH 8, previamente preparada a concentraciones de 1.6 mg de tripsina, 3.1 mg de quimiotripsina y 1.3 mg de peptidasa por mL de solución. Se midió el descenso en el pH después de 10 minutos. Los resultados fueron expresados como porcentajes.

5.2.4.2.Digestibilidad *in vitro* de carbohidratos

La determinación de digestibilidad de carbohidratos *in vitro* se realizó mediante la determinación de almidón resistente del apartado 5.2.2.2., almidón total y almidón disponible.

5.2.4.2.1.Determinación de almidón total

La determinación de almidón total se realizó mediante la técnica descrita por Goñi, García-Alonso y Saura-Calixto (1997). En tubos Falcon de 50 mL, se pesaron 50 mg de muestra, los cuales se mezclaron con 3 mL de agua destilada y 3 mL de KOH 4 M. Posteriormente, los tubos se agitaron constantemente a temperatura ambiente por 30 minutos, para después agregar 3 mL de una solución amortiguadora de acetato de sodio pH 4.7 (0.4 M) y 5.5 mL de HCl 2.0 M. el pH de la solución se ajustó a 4.75 usando soluciones de HCl o NaOH 0.1 M. A continuación, se agregaron 60 µL de la enzima amiloglucosidasa, para después pasar el contenido a tubos de incubación. Las condiciones de la incubación fueron 60°C con agitación constante por 45 minutos. Al termino de la incubación, las muestras se centrifugaron a 3000 G durante 15 minutos, para recuperar el sobrenadante en un matraz. Se llevaron a cabo dos lavados más a la pastilla, usando agua destilada y repitiendo el proceso de centrifugado para cada lavado. La medición del contenido de glucosa se hizo mediante el reactivo de glucosa oxidasa/peroxidasa, midiendo la absorbancia a 510 nm. Los resultados se compararon con una curva de glucosa y se calculó el contenido de almidón total mediante la siguiente formula:

$$\% \text{ Almidón resistente} = \frac{90 * A * B}{D}$$

Donde:

A = Cantidad de glucosa (µg/mL).

B = Factor de dilución.

C = cantidad de muestra (mg).

5.2.4.2.2. Almidón disponible

La determinación de almidón disponible se realizó mediante la técnica de Goñi, García-Alonso y Saura-Calixto (1997). Se pesaron 50 mg de muestra, los cuales se mezclaron con 20 mL de agua destilada en un matraz, que luego fue sometido a agitación constante a temperatura ambiente por 10 minutos. Pasado ese tiempo, el matraz fue cubierto por papel aluminio y se adicionarán 100 μ L de α -amilasa termoestable. El matraz se sometió a agitación constante por 20 minutos a 95°C. Al terminar, el matraz se dejó enfriar a temperatura ambiente, para luego aforar su contenido hasta los 100 mL. Posteriormente se tomaron 300 μ L del matraz y dentro de un tubo Eppendorf color ambar, se mezclaron junto con 1 mL de solución amortiguadora de acetato (0.4 M y pH 4.75) y 25 μ L de amiloglucosidasa. La mezcla se incubó a 60°C y agitación constante durante 30 minutos. Al terminar el periodo de incubación, se dejó enfriar el tubo a temperatura ambiente y luego se centrifugó a 10000 rpm durante 5 minutos, para posteriormente recuperar el sobrenadante. Se realizaron 2 lavados al precipitado, usando 1 mL de agua destilada y repitiendo el proceso de centrifugación con cada uno. Se recuperaron los sobrenadantes y se aforaron a 10 mL usando agua destilada. La cuantificación de almidón disponible se realizó mediante un kit de glucosa oxidasa/peroxidasa, según se indica en el apartado 6.2.2.2. para la determinación de almidón resistente.

5.2.5. Formulación de producto tipo hummus

La formulación del producto tipo hummus se realizó tomando como base las cantidades recomendadas por el codex alimentarius ([CODEX STAN, 2007](#)) para un hummus de garbanzo con tahina, cambiando la proporción de garbanzo por frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad Bayo Madero. Las proporciones indicadas son: un mínimo del 8% (m/m) de tahina, un máximo del 2% (m/m) de sal, un contenido máximo de acidez total del 1% (m/m) presente como ácido ascórbico y el porcentaje restante de frijol. El producto final es una mezcla homogénea, pastosa y libre de aglomeraciones, libre de material de relleno agregado, es decir, harinas y almidones. Se podrán utilizar únicamente tres aditivos alimentarios; ácido cítrico como regulador de acidez, carbonato de sodio como agente antiapelmazante y

carbonato de potasio como un estabilizador. Las cantidades de los aditivos serán reguladas por la Norma General para los aditivos Alimentarios del Codex Alimentarius. La elaboración se realizó de acuerdo a las buenas prácticas de manufactura de alimentos, según la NOM-251-SSA1-2009 generalmente reconocidos como seguros (GRAS, por sus siglas en inglés) por la Administración de Alimentos de Estados Unidos (FDA, por sus siglas en inglés).

5.2.5.1.Preparación del producto tipo hummus

El frijol se dejó remojando durante 14 horas con agua previamente calentada a 80°C, hasta que alcanzó un nivel de humedad entre 45 y 55% determinada como en el apartado 5.2.2.1. Posteriormente, una porción del frijol pasó a ser cocido de manera tradicional, descrita en el apartado 5.2.1.1, y otra porción pasó a la cocción por extrusión, como la descrita en el apartado 5.2.1.2. El frijol obtenido de cada proceso, se molió por separado en una licuadora comercial como lo recomienda por Jenkins *et al.* (2020), junto con la tahina (previamente molida), la sal, el ácido ascórbico y agua para suavizar la textura del producto final. El hummus obtenido fue almacenado a 4°C hasta el momento de su análisis.

5.2.6.Análisis fisicoquímico

5.2.6.1.Medición de color

La medición del color se hizo según lo recomendado por la Comisión Internacional de Iluminación (2004). Se usó un espectrofotómetro portátil Minolta CM-202 y los resultados se expresaron en términos de luminosidad (L^*), color rojo (a^*) y color amarillo (b^*).

5.2.6.2.Medición de pH

El pH se determinó a temperatura ambiente, mediante un potenciómetro (Orion 3 Star, THERMO SCIENTIFIC) previamente calibrado con estándares de 4, 7 y 10.

5.2.6.3.Reología

El análisis reológico se realizó de acuerdo a la metodología descrita por Cabrera-Ramírez *et al.* (2021), con ligeras modificaciones. Se usó un reómetro (Anton Paar

Physica Modelo MCR1-101, Australia) con platos paralelos pulidos (Anton Paar, PP25/3,25 mm de diámetro). Se determinó la región viscoelástica lineal (RVL) de las muestras a 25°C con una amplitud gamma de 0.1 a 100% y una frecuencia fija de 1 Hz. Posteriormente, se fijó la amplitud gamma en el valor crítico de deformación encontrado en la RVL, siendo éste de 0.31%, para así poder determinar el módulo G' (módulo de almacenaje o elástico) y G'' (módulo de pérdida o viscoso). Esta determinación se llevó a cabo con un barrido de frecuencia de 0.1 a 100 Hz y una temperatura fija en 25°C.

5.2.7. Diseño experimental

Para determinar cuáles fueron las mejores formulaciones del producto tipo hummus a base de frijol común, se propuso un diseño factorial 2^2 , es decir, dos factores de interés en dos niveles cada uno. Los factores que se estudiaron fueron: el método de cocción (tradicional y por extrusión) y la cantidad de frijol empleada (84 y 72%), con el fin de observar variaciones en el perfil químico, nutracéutico o fisicoquímico del producto final. Para el caso de la cantidad de frijol, cuando esta se reduce, el resto fue compensado con el segundo ingrediente principal que define el CODEX, la tahina. Los tratamientos fueron evaluados en tres respuestas, las cuales fueron fibra dietética total, capacidad antioxidante y perfil reológico.

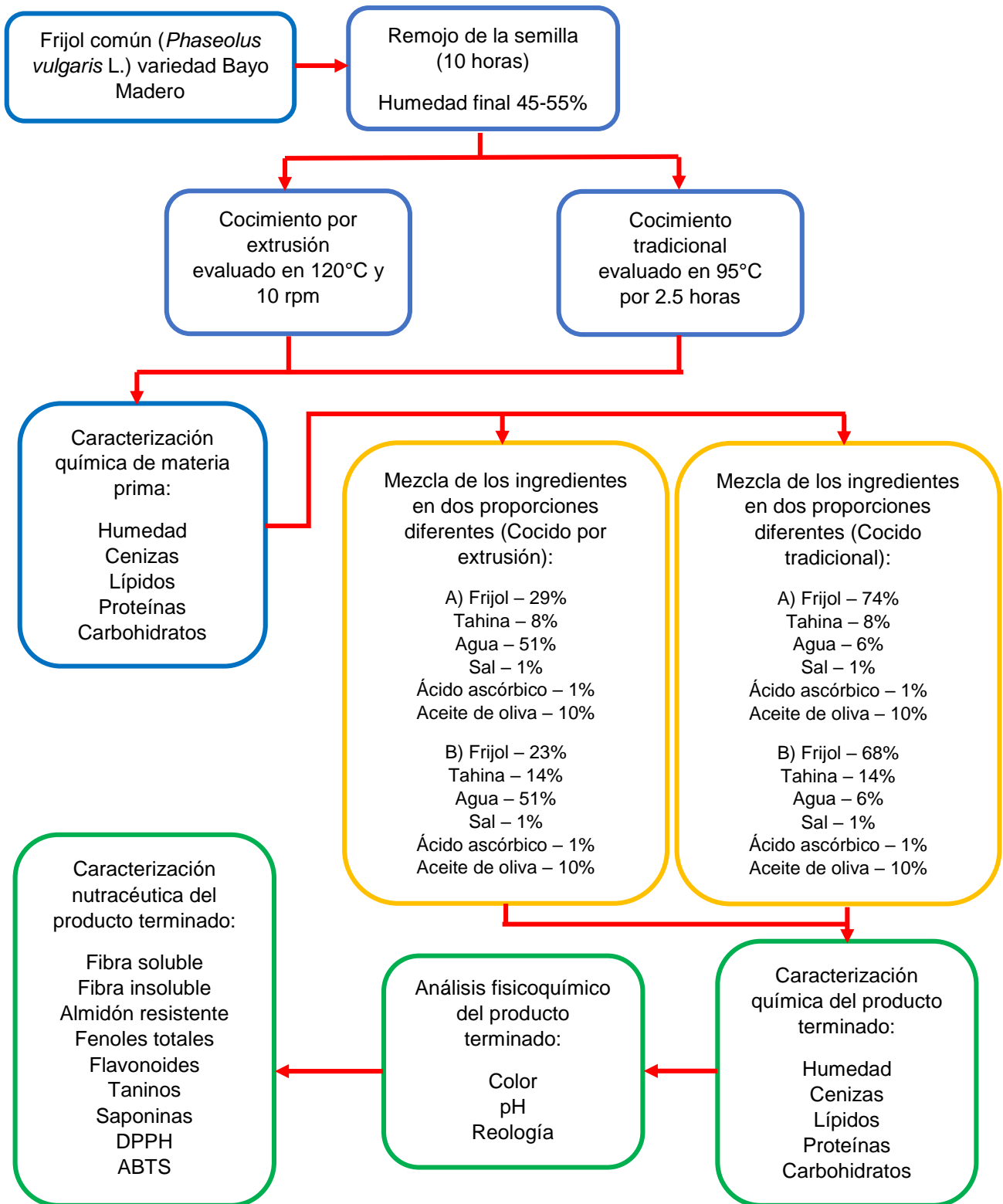


Figura 2. Diagrama de la metodología experimental. El color azul indica la etapa de cocción y caracterización de materias primas, el naranja indica la etapa de

elaboración del producto y el color verde indica la etapa de caracterización y análisis del producto terminado.

5.2.8. Análisis estadístico

Los resultados obtenidos del análisis estadístico se expresaron como la media \pm la desviación estándar como medida de dispersión de los datos. Las diferencias entre las medias para los diferentes tratamientos se analizaron por el método de Tukey con $\alpha=0.05$, usando el programa R versión 3.6.1.

6.Resultados y discusión

6.1.Caracterización de materia prima

6.1.1.Caracterización proximal

Con el objeto de poder formular el producto, se realizaron análisis proximales a los componentes mayoritarios del hummus según el CODEX: el frijol y la tahina. En el Cuadro 4 se presentan los resultados del análisis proximal de la harina de frijol cocido tradicional, harina de frijol cocido por extrusión y la tahina, todos en base seca.

Cuadro 4. Contenido de proteína, lípidos, cenizas y carbohidratos en harinas de frijol extrudido y cocido tradicional y tahina.

Muestra	Proteínas ¹	Lípidos ¹	Cenizas ¹	Carbohidratos ¹
HFE	21.42 ± 0.15 ^a	1.81 ± 0.15 ^a	3.58 ± 0.04 ^a	73.19 ± 0.21 ^b
HFCT	21.3 ± 0.11 ^a	1.68 ± 0.23 ^a	2.5 ± 0.02 ^b	74.52 ± 0.21 ^a
Tahina	27.63 ± 0.09	67.68 ± 0.11	3.65 ± 0.05	1.04 ± 0.01

HFE=harina de frijol extrudido; HFCT=harina de frijol cocido tradicional. Los resultados están expresados en base seca y son la media de tres réplicas ± la desviación estándar. Diferentes letras en la misma columna expresan diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la prueba de Tukey. ¹Porcentaje (%).

De acuerdo a los valores obtenidos en el Cuadro 4, no se observó diferencia significativa en el contenido de proteína entre las harinas de frijol extrudido (HFE) y de frijol cocido tradicional (HFCT) ($p \leq 0.05$). Lo anterior, se atribuye a que ni el proceso de cocción tradicional, ni la cocción por extrusión son procesos con condiciones de temperatura y esfuerzo cortante lo suficientemente agresivas para destruir este tipo de moléculas (Ai *et al.*, 2016; Batista, Prudencio y Fernández, 2010). De forma similar, el contenido de lípidos, tampoco muestra una diferencia significativa entre ambas harinas de frijol ($p \leq 0.05$). Batista, Prudencio y Fernández, (2010), y De Pilli *et al.* (2008), reportaron que a condiciones altas de temperatura y velocidad de tornillo ($T > 200^\circ\text{C}$ y velocidad $> 300\text{rpm}$) durante la extrusión, se puede favorecer la degradación de lípidos o incluso la formación de complejos con

moléculas de amilosa, los cuales dificultarían su cuantificación. En consecuencia, se concluye que las condiciones de extrusión usadas en este proyecto (120°C y 10rpm), las cuales quedan muy por debajo de los límites antes mencionados, no fueron suficientes para provocar una diferencia significativa entre métodos de cocción (Batista, Prudencio y Fernández, 2010).

El Cuadro 4 muestra una diferencia significativa en los valores de cenizas y carbohidratos entre HFE y HFCT ($p \leq 0.05$). Respecto al contenido de cenizas, éste es más alto en HFE. Esta diferencia puede atribuirse a la solubilidad de componentes del frijol que se encuentran dentro de esta clasificación, como lo son el calcio, magnesio, potasio y hierro, los cuales pueden perderse durante el proceso de remojo y en la cocción tradicional del frijol (Carvalho *et al.*, 2012). Respecto a los carbohidratos totales, HFE presenta un contenido ligeramente menor al de HFCT ($p \leq 0.05$). Dicha diferencia puede atribuirse a la pérdida de algunos azúcares al formar complejos con los grupos amino de algunos aminoácidos expuestos, como la lisina. Dicha exposición de aminoácidos se logra al desnaturalizar la proteína, dando paso a un rearrreglo espacial que permite la unión no covalente con otros compuestos. Cabe destacar que la desnaturalización de proteínas es mayor en la cocción por extrusión que en la convencional (Escobedo *et al.*, 2020; Singh, Gamlath y Wakeling, 2007).

Observando la composición química de la tahina, se destaca su aporte de proteína y lípidos a la formulación del producto tipo hummus. El contenido de proteína, lípidos y cenizas son mayores a los reportados por El-Adawy y Mansour (2000), siendo estos valores de 22.22%, 58.97% y 2.76% respectivamente. Estas diferencias pueden deberse a la variedad de la semilla de sésamo usada, así como del método de preparación de la tahina (El-Adawy y Mansour, 2000).

6.1.2. Caracterización nutracéutica

6.1.2.1. Contenido de fibra

La evaluación del contenido de fibra dietaria total, soluble e insoluble en HFE y HFCT se realizó con el objetivo de comprobar el efecto de cada proceso de cocción sobre moléculas que no se digieren en el intestino delgado. Los resultados del contenido de fibra dietaria total, soluble e insoluble, se presentan en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Fibra dietaria soluble e insoluble de harinas de frijol extrudido y cocido tradicional.

Muestra	Fibra dietaria total ¹	Fibra dietaria insoluble ¹	Fibra dietaria soluble ¹
HFE	27.11 ± 0.73 ^a	26.13 ± 0.79 ^a	0.98 ± 0.06 ^a
HFCT	36.62 ± 1.57 ^b	35.08 ± 1.83 ^b	1.54 ± 0.26 ^b

HFE=harina de frijol extrudido; HFCT=harina de frijol cocido tradicional. Los resultados son la media de tres réplicas ± la desviación estándar. Diferentes letras en la misma columna expresan diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la prueba de Tukey. ¹Porcentaje (%).

De acuerdo a los valores obtenidos en el Cuadro 5, se observó diferencia significativa en el contenido de fibra dietaria total, fibra insoluble y fibra soluble ($p \leq 0.05$). Es de destacar, que los tres valores son superiores en HFCT respecto a HFE. Uno de los mecanismos por los que se incrementa el contenido de fibra dietaria en el frijol común, luego de ser sometido a un proceso de cocción, es el incremento de la fracción soluble mediante la despolimerización parcial e hidrólisis de algunos compuestos de la fracción no soluble (Aguilera *et al.*, 2009). Otro mecanismo es la formación de almidón resistente y glucanos indigeribles por glicosilación (Vasanthan *et al.*, 2002). Dichos mecanismos, pueden verse favorecidos a condiciones agresivas de extrusión. Singh, Gamlath y Wakeling, (2007), sugieren una temperatura de operación mayor a 160°C, una velocidad de tornillo mayor a 150 rpm y una humedad de alimentación menor al 20%. Debido a lo anterior, se sugiere que las condiciones de extrusión de un precalentamiento de 60°C y una temperatura de cocción de 120°C, no fueron tan efectivas como una

temperatura de 160°C, para facilitar el obtener un contenido de fibra dietaria significativamente similar al obtenido mediante un proceso de cocción tradicional. En ese sentido, Kutoš *et al.* (2003), reportaron que el contenido de fibra total en frijol común puede disminuir luego de someterse a un proceso de cocción. Así mismo, señalan que estos cambios están en función de la variedad del frijol, el tipo de cocción y la duración del proceso.

De acuerdo con la información nutrimental aportada por el fabricante, el contenido de fibra de la tahina en el contenido de carbohidratos es del 12%, con lo cual se asume que el frijol es el que aportó la mayor proporción de fibra al producto final.

6.1.2.2. Contenido de fenoles totales, flavonoides y taninos

La medición del contenido de compuestos fenólicos (fenoles totales, flavonoides y taninos), ayuda para conocer el efecto que tiene el proceso de cocción sobre la retención de los mismos en su forma libre, dentro de la matriz alimenticia (Rocha-Guzmán *et al.*, 2007). Los resultados del contenido de fenoles totales, flavonoides y taninos para la harina de frijol cocido tradicional, harina de frijol cocido por extrusión y la tahina, se presentan en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Contenido de compuestos fenólicos, flavonoides y taninos en harinas de frijol extrudido y cocido tradicional y tahina.

Muestra	Fenoles Totales ¹	Flavonoides ²	Taninos Condensados ³
HFE	1.29 ± 0.10 ^a	0.05 ± 0.01 ^a	5.94 ± 0.08 ^a
HFCT	1.14 ± 0.12 ^a	0.07 ± 0.01 ^a	8.81 ± 0.88 ^b
Tahina	0.72 ± 0.06	0.04 ± 0.01	7.17 ± 0.19

HFE=harina de frijol extrudido; HFCT=harina de frijol cocido tradicional. Los resultados son la media de tres réplicas ± la desviación estándar. Diferentes letras en la misma columna expresan diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la prueba de Tukey. ¹Fenoles Totales Libres se expresan como mg equivalentes de Ácido Gálico/g muestra. ²Flavonoides se expresan como mg equivalentes de Rutina/g muestra. ³Taninos Condensados se expresan como mg equivalentes de Catequina/g muestra.

De acuerdo con los valores del Cuadro 6, no hubo diferencia significativa en cuanto a contenido de fenoles totales y flavonoides entre HFE y HFCT ($p \leq 0.05$). Por otro lado, en cuanto al contenido de taninos, HFCT presenta una mayor cantidad, con respecto a HFE ($p \leq 0.05$). Treviño-Mejía, (2013), reportó valores menores de taninos para frijol cocido tradicional (6.00 ± 0.42 mg eq. De Catequina/g muestra), esta diferencia pudiese atribuirse a la variedad y cosecha del frijol analizado (Florez *et al.*, 2009; Zia-UI-Haq, *et al.*, 2007). En cuanto al menor contenido de taninos en HFE, se atribuye a que, en el proceso por extrusión, las moléculas responsables de dar color a la semilla, como los taninos, se pierden por polimerización con otras moléculas, como las proteínas (Camire, 2000).

La tahina muestra un valor de fenoles totales menor a lo reportado por Rizki *et al.* (2014), con un rango de 3.75 hasta 3.92 mg eq. ácido gálico/g para 35 variedades diferentes de semilla de sésamo, materia prima única para elaborar la tahina. Sin embargo, Öğütcü *et al.* (2017), reportaron intervalos de 0.383 hasta 0.442 mg eq. ácido gálico/g para nueve variedades diferentes de tahina. Respecto al contenido de flavonoides, Rizki *et al.* (2014), también reportan un contenido mayor, con rangos de 0.13 a 0.14 mg eq. Rutina/g. Dichas diferencias pudiesen ser atribuidas a la variedad de la semilla analizada, así como de las condiciones climatológicas del sitio de producción del cultivar (Öğütcü *et al.*, 2017; Riski *et al.*, 2014; Sadeghi *et al.*, 2020).

6.1.2.3. Capacidad antioxidante

Una vez teniendo los valores del perfil de compuestos fenólicos de cada una de las harinas, se determinó su capacidad antioxidante, para comprobar el efecto de cada uno de los procesos de cocción sobre la capacidad para inhibir radicales libres de las muestras (Huan *et al.*, 2005). Los resultados de capacidad antioxidante para la harina de frijol cocido tradicional, harina de frijol cocido por extrusión y la tahina, se presentan en el Cuadro 7.

Cuadro 7. Capacidad antioxidante de harinas de frijol extrudido y cocido tradicional y tahina.

Muestra	DPPH ¹	ABTS ¹
HFE	1467.98 ± 173.68 ^a	5710.21 ± 200.79 ^a
HFCT	1184.67 ± 143.76 ^b	5086.64 ± 84.9 ^b
Tahina	1320.2 ± 114.1	2650.24 ± 9.58

HFE=harina de frijol extrudido; HFCT=harina de frijol cocido tradicional. Los resultados son la media de tres réplicas ± la desviación estándar. Diferentes letras en la misma columna expresan diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la prueba de Tukey. ¹Capacidad antioxidante se expresa como μmol equivalentes de Trolox/g muestra.

De acuerdo con los datos del Cuadro 7, se puede observar que la capacidad antioxidante de HFE es significativamente mayor a la de HFCT ($p \leq 0.05$). Lo anterior, se puede atribuir a que, en el proceso de cocción tradicional puede ocurrir un fenómeno de lixiviación, donde una cantidad significativa de compuestos fenólicos, migran de la matriz hacia el agua de cocción. Lo anterior se traduce en una disminución en la capacidad antioxidante del frijol cocido (Rocha-Guzmán *et al.*, 2007). Así mismo, se ha reportado que, bajo condiciones suaves de operación, como las usadas en este proyecto, el proceso de cocción por extrusión favorece la sinergia entre los compuestos fenólicos y otros compuestos, tales como productos de la reacción de Maillard obtenidos del calentamiento de lisina y glucosa. Lo anterior, conlleva a un incremento en la capacidad antioxidante significativamente mayor que la obtenida en un proceso de cocción tradicional (Brennan *et al.*, 2011; Singh, Gamlath y Wakeling, 2007).

6.2. Formulación de los productos tipo hummus de frijol común

Una vez que se tuvo la caracterización química de las materias primas, se procedió a formular el producto tipo hummus, tomando como base la lista de los componentes y cantidades permitidas por el Codex Alimentarius y la composición química del producto comercial. Esto con el fin de conocer y obtener las proporciones de humedad y lípidos, los cuales aportarían propiedades emulsionantes útiles para mejorar la textura del producto final (Martínez-Preciado, *et al.*, 2019; Muñoz, Alfaro

y Zapata, 2007). Tomando en cuenta lo anterior, se siguió un diseño experimental bifactorial 2^2 como el que se muestra en la Figura 3.

Según se observa en la Figura 3, se contó con dos factores en dos niveles cada uno; el método de cocción (tradicional y por extrusión) y la formulación de cada hummus, variando la cantidad de frijol y de tahina en dos proporciones diferentes. A partir de ahora, las siglas HFCT corresponden al Hummus de Frijol Cocido Tradicional en sus formulaciones 1 y 2. Por otro lado, las siglas HFE corresponden al Hummus de Frijol Extrudido, en sus formulaciones 1 y 2. A sí mismo, las Siglas HC harán alusión al Hummus Comercial.

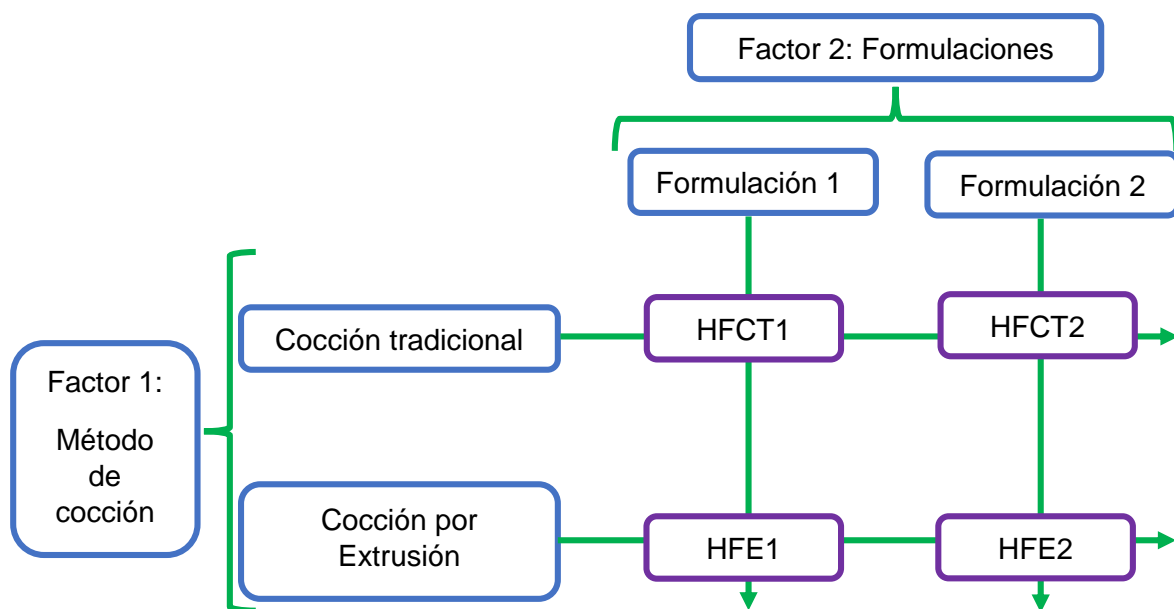


Figura 3. Diseño experimental Bifactorial 2^2 . HFCT1=hummus de frijol cocido formulación 1; HFCT2=hummus de frijol cocido formulación 2; HFE1=hummus de frijol extrudido formulación 1; HFE2=hummus de frijol extrudido formulación 2.

6.3.Caracterización del producto tipo hummus

6.3.1.Caracterización proximal

Como resultado de la caracterización química realizada a las materias primas se llevaron a cabo cuatro formulaciones del producto tipo hummus de frijol común. La

caracterización química de las cuatro formulaciones del producto tipo hummus y el hummus comercial, se muestran en el Cuadro 8.

Cuadro 8. Contenido de humedad, proteína, lípidos, cenizas y carbohidratos en hummus comercial, hummus de frijol cocido y hummus de frijol extrudido en base húmeda.

Muestra	Proteína ¹	Lípidos ¹	Cenizas ¹	Carbohidratos ²	Humedad ¹
HC	7.6 ^a	16.83 ± 0.01 ^c	2.18 ± 0.001 ^a	18.23 ± 0.1 ^b	55.15 ± 0.14 ^a
HFCT1	6.14 ± 0.18 ^c	15.39 ± 0.03 ^d	1.97 ± 0.05 ^a	21.61 ± 0.15 ^{ab}	54.88 ± 0.11 ^a
HFCT2	6.71 ± 0.07 ^b	18.78 ± 0.05 ^a	2.14 ± 0.01 ^a	21.65 ± 0.63 ^{ab}	50.72 ± 0.77 ^a
HFE1	6.27 ± 0.13 ^c	15.21 ± 0.02 ^e	2.18 ± 0.02 ^a	23.12 ± 0.29 ^a	53.2 ± 0.32 ^a
HFE2	6.90 ± 0.80 ^b	18.25 ± 0.05 ^b	2.23 ± 0.2 ^a	24.02 ± 2.04 ^a	50.08 ± 4.25 ^a

HC=hummus comercial; HFCT1=hummus de frijol cocido formulación 1; HFCT2=hummus de frijol cocido formulación 2; HFE1=hummus de frijol extrudido formulación 1; HFE2=hummus de frijol extrudido formulación 2. Los resultados son la media de tres réplicas ± la desviación estándar. Diferentes letras en la misma columna expresan diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la prueba de Tukey. ¹Porcentaje (%). ²Porcentaje calculado por diferencia (%).

En el Cuadro 8, se puede observar que, entre las muestras del producto tipo hummus de frijol común, HFCT2 y HFE2 fueron las muestras con mayor contenido de proteína con respecto a HFCT1 y HFE1 ($p \leq 0.05$). Lo anterior puede atribuirse a que HFCT2 y HFE2 son las formulaciones que incluyen un mayor contenido de tahina, la materia prima con mayor contenido de proteína. Sin embargo, estos valores son significativamente menores al del hummus comercial (HC) tomado directamente de lo reportado por el fabricante. Wallace, Murray y Zelman *et al.*, (2016), reportaron un contenido de proteína similar al de HC para un hummus de garbanzo común (*Cicer arietinum* L.) (7.9%). No obstante, Alvarez *et al.* (2016), reportan un valor más cercano a HFCT2 y HFE2 de proteína para un Hummus de garbanzo (6.8%). Estas diferencias se atribuyen principalmente a la formulación, al cambio de leguminosa, y a la variedad y condiciones de cultivo de la leguminosa usada (Zia-UI-Haq, *et al.*, 2007).

El Cuadro 8, deja claro que HFCT2 y HFE2 son las muestras con mayor contenido de lípidos con respecto a HFCT1 y HFE1 ($p \leq 0.05$). Lo anterior se atribuye a que en las formulaciones de HFCT1 y HFE1, se incluye una menor cantidad de tahina, la materia prima con mayor contenido de lípidos. Es importante recalcar el hecho de que, debido a la naturaleza vegetal de la tahina, aunque aporte la mayor cantidad de lípidos al producto, estos son, en su mayoría, mono- y poliinsaturados (~82%), como el oleico, palmítico, linoleico y linolénico, lo que podría contribuir a que el producto tenga un efecto significativo en la reducción del riesgo a padecer enfermedades cardiovasculares (Reister, Belote y Leidy, 2020). La muestra HC tiene menos lípidos que HFCT2 y HFE2, pero más que HFCT1 y HFE1 ($p \leq 0.05$). Estos valores son menores a lo reportado por Alvarez *et al.* (2016), pero mayores al valor reportado por Wallace, Murray y Zelman (2016), para el contenido de lípidos para un hummus de garbanzo (25.3 y 9.6% respectivamente). Por lo anterior, las diferencias en la composición de lípidos entre los productos tipo hummus y el hummus comercial, se atribuye principalmente a la formulación y a la leguminosa y variedad usadas en la elaboración de cada producto (Martínez-Preciado *et al.*, 2019; Zia-UI-Haq *et al.*, 2007).

De acuerdo al Cuadro 8, se puede observar que las 4 formulaciones de producto tipo hummus de frijol contienen significativamente una mayor proporción de carbohidratos ($p \leq 0.05$), con respecto a HC. Los valores mostrados en el Cuadro 8, son mayores a los reportados por diversos investigadores, tales como Alvarez *et al.*, (2016), Wallace, Murray y Zelman (2016), y Reister, belote y Leidy, (2020), para el contenido de carbohidratos en hummus de garbanzo (7.5, 14.29 y 15%, respectivamente). Estas diferencias son atribuibles al cambio de leguminosa y a la variedad de las mismas, empleadas en la elaboración del producto (Fernández-Valenciano y Sánchez-Chávez, 2017; Zia-UI-Haq *et al.*, 2007).

Para el caso del contenido de cenizas, no existe diferencia significativa entre las cuatro muestras de producto tipo hummus de frijol ($p \leq 0.05$). por otro lado, tampoco existe diferencia si se comparan con el HC ($p \leq 0.05$), de manera similar, el contenido

de humedad se mantiene sin diferencias significativas entre las cinco muestras analizadas ($p \leq 0.05$).

En México, no existe una legislación clara para poder hacer declaraciones nutrimentales respecto al contenido de algún ingrediente en el etiquetado de cualquier producto (Tolentino-Mayo, *et al.* 2018). Sin embargo, en 2019 se aprobó una modificación a la NOM-051-SCFI/SSA1-2010 con el fin de ayudar a la población en la elección de productos más saludables para su dieta. Dicha modificación, establece los criterios para que un producto muestre en su etiquetado, alguno o varios de entre cinco sellos, siendo estos: exceso de calorías, exceso de sodio, exceso de grasas saturadas, exceso de grasas trans y exceso de azúcares, así como la leyenda de “contiene edulcorantes, no recomendables en niños”. De acuerdo a la NOM-051, este producto sería acreedor a un sello, siendo este el de “Exceso de sodio”. Lo anterior se debe a que el criterio para adquirir dicho sello es que el producto debe contener igual o más de 300 mg/100 g, y este producto contiene 393.1 mg sódio/100 g producto, cantidad fija para las cuatro formulaciones de producto tipo hummus de frijol común.

6.3.2. Caracterización nutracéutica

6.3.2.1. Contenido de fibra

La fibra es uno de los compuestos de los alimentos de mayor importancia biológica, debido al efecto benéfico que tienen al reducir el riesgo a padecer algunas ECDNTs (Chávez-Mendoza y Sánchez, 2017). El contenido de fibra de las cuatro formulaciones del producto tipo hummus y el hummus comercial, se muestran en el Cuadro 9.

Cuadro 9. Fibra dietaria total en hummus comercial, hummus de frijol cocido y hummus de frijol extrudido.

Muestra	Fibra dietaria total ¹
HC	4.90 ^d
HFCT1	10.91 ± 0.20 ^a
HFCT2	11.23 ± 0.07 ^a
HFE1	9.62 ± 0.12 ^c
HFE2	9.98 ± 0.17 ^b

HC=hummus comercial; HFCT1=hummus de frijol cocido formulación 1; HFCT2=hummus de frijol cocido formulación 2; HFE1=hummus de frijol extrudido formulación 1; HFE2=hummus de frijol extrudido formulación 2. Los resultados son la media de tres réplicas ± la desviación estándar. Diferentes letras en la misma columna expresan diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la prueba de Tukey. ¹Porcentaje.

De acuerdo con los datos presentados en el Cuadro 9, las muestras HFCT1 y HFCT2 fueron las que presentaron un mayor contenido de fibra dietaria total, comparándolas con HFE1 y HFE2 ($p \leq 0.05$). Estos resultados se esperaban luego de comprobar que después de someter a cocción tradicional el frijol común, se obtiene un mayor contenido de fibra dietaria que si se somete a una cocción por extrusión como la propuesta en este proyecto. Sin embargo, todas las muestras de producto tipo hummus elaboradas a base de frijol común, presentaron un mayor contenido de fibra dietaria total, pasando de un orden de 1.96 (HFE1), hasta 2.29 (HFCT2) veces más contenido. Otros autores, como Alvarez *et al.* (2016), y Wallace, Murray y Zelman (2016), reportan mayores valores de fibra que HC para un hummus de garbanzo (8.4 y 6 g/100 g, respectivamente). Estas variaciones son atribuibles a la variedad y condiciones de cultivo de la leguminosa empleada en la elaboración del producto (Fernández-Valenciano y Sánchez-Chávez, 2017; Zia-Ul-Haq, *et al.*, 2007).

La NOM-051-SCFI/SSA1-2010 en su modificación del 2019, permite hacer declaraciones nutrimentales referentes al contenido de fibra. En ese sentido, de acuerdo a las directrices para el uso de declaraciones nutricionales y saludables

(Codex Alimentarius, 1997), para que un alimento formulado pueda declarar que es “alto en fibra”, éste debe contener al menos el 20% del valor diario de referencia por porción. El valor diario de referencia manejado para México se manifiesta en la misma NOM-051-SCFI/SSA1-2010, siendo este un valor de 30 g/día para un adulto. Las porciones se han estandarizado con esta misma norma a 100 g. de esta forma se tiene que el 20% del valor diario de referencia a cumplir es de 6 g/100 g producto. Por lo que se puede decir que el producto tipo hummus obtenido en esta investigación se considera “alto en fibra”.

6.3.2.2. Aporte calórico

Una vez que se ha obtenido la caracterización química y el contenido de fibra de todos los productos, se puede hacer un estimado del aporte calórico de cada una de las cuatro formulaciones propuestas, así como para HC. Este cálculo es necesario para poder realizar declaraciones de propiedades comparativas, y poder declarar al producto tipo hummus de frijol común, como un producto “reducido en calorías” (Codex Alimentarius, 1997).

Para llevar a cabo este cálculo, es necesario determinar qué compuestos dan energía y qué factores de conversión de energía tienen. Estos compuestos son: proteínas, lípidos y carbohidratos disponibles, los cuales tienen factores de 4, 9 y 4 kcal/g, respectivamente (Greenfield y Southgate, 2006). Los resultados del estimado del aporte calórico de las cuatro formulaciones del producto tipo hummus y el hummus comercial, se muestran en el Cuadro 10.

Cuadro 10. Aporte calórico estimado de hummus comercial, hummus de frijol cocido y hummus de frijol extrudido.

Muestra	Aporte calórico ¹
HC	235.22 ± 0.39 ^a
HFCT1	205.89 ± 0.91 ^b
HFCT2	237.55 ± 2.35 ^a
HFE1	216.05 ± 1.21 ^b
HFE2	247.50 ± 7.42 ^a

HC=hummus comercial; HFCT1=hummus de frijol cocido formulación 1; HFCT2=hummus de frijol cocido formulación 2; HFE1=hummus de frijol extrudido formulación 1; HFE2=hummus de frijol extrudido formulación 2. Los resultados son la media de tres réplicas \pm la desviación estándar. Diferentes letras en la misma columna expresan diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la prueba de Tukey. ¹Kcal/100g muestra.

De acuerdo con los valores del Cuadro 10, se puede observar que tanto HFCT2 como HFE tienen un aporte calórico estadísticamente similar a HC ($p \leq 0.05$). Lo anterior puede atribuirse a que tanto HFCT2 como HFE2 son las muestras cuyo contenido de lípidos son los más altos entre los cinco analizados. Al tener estos el factor de conversión de energía más alto (9 kcal/g), su aporte al contenido energético es el más significativo. Es de recalcar que las muestras HFCT2 y HFE2 son las que en su formulación incluyen la mayor proporción de tahina, el ingrediente que destacó por su alto contenido de lípidos. Por otro lado, HFCT1 y HFE1 cuentan con un aporte calórico significativamente menor al resto de muestras. Estos resultados son consistentes con el contenido de lípidos anteriormente mencionado, ya que tanto HFCT1 como HFE1 son las formulaciones que contienen menor proporción de tahina.

Según la normatividad vigente en México, la NOM-051-SCFI/SSA1-2010, para que un alimento formulado se haga acreedor del sello "Exceso de calorías", estos deben exceder las 275 kcal/100 g. Siendo que las cuatro formulaciones de producto tipo hummus a base de frijol común están por debajo del límite (con valores entre las 205.89 ± 0.91 para HFCT1, hasta las 247.50 ± 7.42 para HFE2), ninguna muestra tendría dicho sello. Por otro lado, para poder hacer la declaración de propiedad comparativa de "Reducido en calorías", las formulaciones deben tener un aporte calórico menor que el producto que está en el mercado, al menos en un 25%. Si bien, el aporte calórico de HFCT1 y HFE1 son significativamente menores al de HC, estos valores son 12.47% y 8.15% menores, respectivamente. Por ello, ninguno de los productos elaborados con frijol común puede hacer la declaración deseada ([Codex Alimentarius, 1997](#)).

6.3.2.3. Contenido de fenoles totales, flavonoides y taninos

Los resultados del contenido de compuestos fenólicos, flavonoides y taninos de las cuatro formulaciones del producto tipo hummus y el hummus comercial, se muestran en el Cuadro 11.

Cuadro 11. Contenido de compuestos fenólicos, flavonoides y taninos en hummus comercial, hummus de frijol cocido y hummus de frijol extrudido.

Muestra	Fenoles Totales ¹	Flavonoides ²	Taninos Condensados ³
HC	0.96 ± 0.05 ^b	0.07 ± 0.01 ^c	0.19 ± 0.01 ^c
HFCT1	5.78 ± 0.55 ^a	0.34 ± 0.03 ^a	0.92 ± 0.02 ^a
HFCT2	5.99 ± 0.46 ^a	0.35 ± 0.02 ^a	0.62 ± 0.08 ^b
HFE1	5.52 ± 0.51 ^a	0.27 ± 0.01 ^b	0.52 ± 0.1 ^b
HFE2	6.64 ± 0.26 ^a	0.29 ± 0.02 ^{bc}	1.12 ± 0.05 ^a

HC=hummus comercial; HFCT1=hummus de frijol cocido formulación 1; HFCT2=hummus de frijol cocido formulación 2; HFE1=hummus de frijol extrudido formulación 1; HFE2=hummus de frijol extrudido formulación 2. Los resultados son la media de tres réplicas ± la desviación estándar. Diferentes letras en la misma columna expresan diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la prueba de Tukey. ¹Fenoles Totales Libres se expresan como mg equivalentes de Ácido Gálico/g muestra. ²Flavonoides se expresan como mg equivalentes de Rutina/g muestra. ³Taninos Condensados se expresan como mg equivalentes de Catequina/g muestra.

De acuerdo con los datos del Cuadro 11, no existe diferencia significativa entre las cuatro muestras de producto tipo hummus de frijol común ($p \leq 0.05$). En la literatura no hay datos de compuestos fenólicos en hummus a base de frijol, los que hay son a base de garbanzo, por ejemplo: Klug *et al.*, (2018), reportaron un contenido mucho menor de fenoles totales de 0.363 mg equivalentes de Ácido Gálico/g. Este bajo contenido se atribuye a la variedad de la leguminosa y al método de preparación empleado para la elaboración del producto (Klug *et al.*, 2018; Martínez-Hernández *et al.*, 2013). Sin embargo, estas tienen un contenido de fenoles totales significativamente mayores que HC. Un comportamiento similar se puede observar

para el contenido de flavonoides, donde las cuatro muestras de producto tipo hummus tienen un contenido significativamente mayor al de HC. Sin embargo, en esta ocasión si existe diferencia entre las muestras hechas con frijol cocido de manera tradicional (HFCT1 y HFCT2) y las hechas con frijol extrudido (HFE1 y HFE2) ($p \leq 0.05$). Finalmente, las cuatro muestras de producto tipo hummus de frijol común presentan un contenido significativamente mayor al de HC. Entre las muestras de producto tipo hummus, el contenido de taninos de HFCT1 y HFE2 es significativamente mayor al de HFCT2 y HFE1 ($p \leq 0.05$). Las diferencias anteriormente mencionadas, se atribuyen a los cambios térmicos por los que pasa la muestra durante el proceso de elaboración del extracto para la cuantificación (AOAC, 2002; Shahidi, 1995). Estos datos destacan el hecho de que el cambio de la leguminosa en la formulación para un hummus puede mejorar el contenido de compuestos fenólicos, componentes reconocidos por sus diversos beneficios en la salud derivados de su consumo (Chávez-Mendoza y Sánchez, 2017).

6.3.2.4. Capacidad antioxidante

Los resultados de capacidad antioxidante de las cuatro formulaciones del producto tipo hummus y el hummus comercial, se muestran en el Cuadro 12.

Cuadro 12. Capacidad antioxidante de hummus comercial, hummus de frijol cocido y hummus de frijol extrudido.

Muestra	DPPH ¹	ABTS ¹
HC	2320.71 ± 214.93 ^d	2508.73 ± 6.42 ^e
HFCT1	11572.42 ± 132.18 ^b	7800.47 ± 24.49 ^c
HFCT2	11702.47 ± 156.97 ^b	7994.2 ± 13.39 ^b
HFE1	9989.88 ± 51.90 ^c	6761.77 ± 25.68 ^d
HFE2	12197.87 ± 93.86 ^a	8225.31 ± 43.10 ^a

HC=hummus comercial; HFCT1=hummus de frijol cocido formulación 1; HFCT2=hummus de frijol cocido formulación 2; HFE1=hummus de frijol extrudido formulación 1; HFE2=hummus de frijol extrudido formulación 2. Los resultados son la media de tres réplicas ± la desviación estándar. Diferentes letras en la misma columna expresan

diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la prueba de Tukey. ¹Capacidad antioxidante se expresa como μmol equivalentes de Trolox/g muestra.

Como se muestra en el Cuadro 12, de manera general, las muestras de producto tipo hummus exhiben una capacidad antioxidante que HC ($p \leq 0.05$). Comparando entre sí las cuatro muestras de producto tipo hummus de frijol común, se observa que HFE2 es la que mayor capacidad antioxidante presenta, y HFE1 es la que menos. Las dos muestras elaboradas con frijol cocido de manera tradicional, exhiben una capacidad antioxidante mayor a HFE1, pero menor que HFE2 ($p \leq 0.05$). Actualmente, no existen datos reportados de capacidad antioxidante para productos tipo hummus elaborados a base de frijol, no obstante, Klug *et al.* (2018), reportaron valores de DPPH de 2322.91 y 912.14 μmol equivalentes de Trolox/g para dos muestras de hummus con brócoli en su formulación (preparados mediante la aplicación de altas presiones y micro ondas, respectivamente), y un valor de 1314.47 μmol equivalentes de Trolox/g para un hummus control de garbanzo. Ellos atribuyen la mayor capacidad antioxidante del hummus hecho por altas presiones al contenido de vitamina C del brócoli, componente que se pierde en el procesado por microondas de acuerdo a lo informado por Martínez-Hernández *et al.* (2013). Debido a lo anterior, el incremento de las capacidades antioxidantes en las cuatro formulaciones de producto tipo hummus de frijol común puede atribuirse a la adición de ácido ascórbico (Vitamina C) a la formulación y al propio cambio de la leguminosa original por el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), producto básico de la dieta del mexicano.

6.3.3. Caracterización físico-química

6.3.3.1. Color

El color es uno de los parámetros de calidad más importantes para cualquier producto y el hummus no escapa de ello, ya que es el primer contacto que tiene con el consumidor (Andrés-Jiménez, 2013). Para la medición de color se obtienen tres valores directamente del equipo. El primero es L^* , el cual es una medida de la luminosidad, cuyos valores van desde el cero (para tonos oscuros), hasta cien (para tonos claros). El segundo es a^* , el cual es una coordenada que mide el componente

rojo-verde (para valores positivos, rojo y para valores negativos, verde). Y finalmente, b^* , una segunda coordenada que mide el componente amarillo-azul (para valores positivos, amarillo, y para valores negativos, azul) (Calvo y Duran, 2002). Estos tres parámetros se codifican en un esquema como se muestra en la Figura 4.

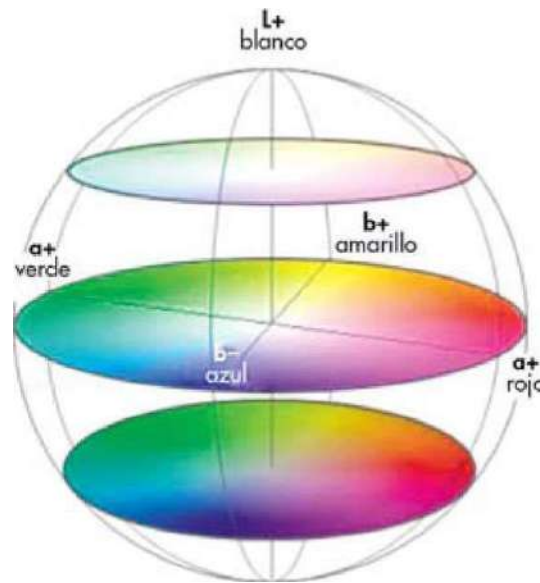


Figura 4. Esquema de coordenadas de color del sistema CIELab (Hoces de la guardia Ch, Brugnoli y Jélvez, 2011).

Las coordenadas a^* y b^* , permiten obtener el valor h , el cual se define como ángulo de matiz; y el valor C^* , definido como cromaticidad o nivel de saturación de color. Dichos valores, aportan información relevante de cada muestra, para ubicarlas claramente dentro del esquema de color CIELab (Calvo y Duran, 2002; Hoces de la guardia Ch, Brugnoli y Jélvez, 2011). Los resultados de color de las cuatro formulaciones del producto tipo hummus y el hummus comercial, se muestran en la Figura 5.

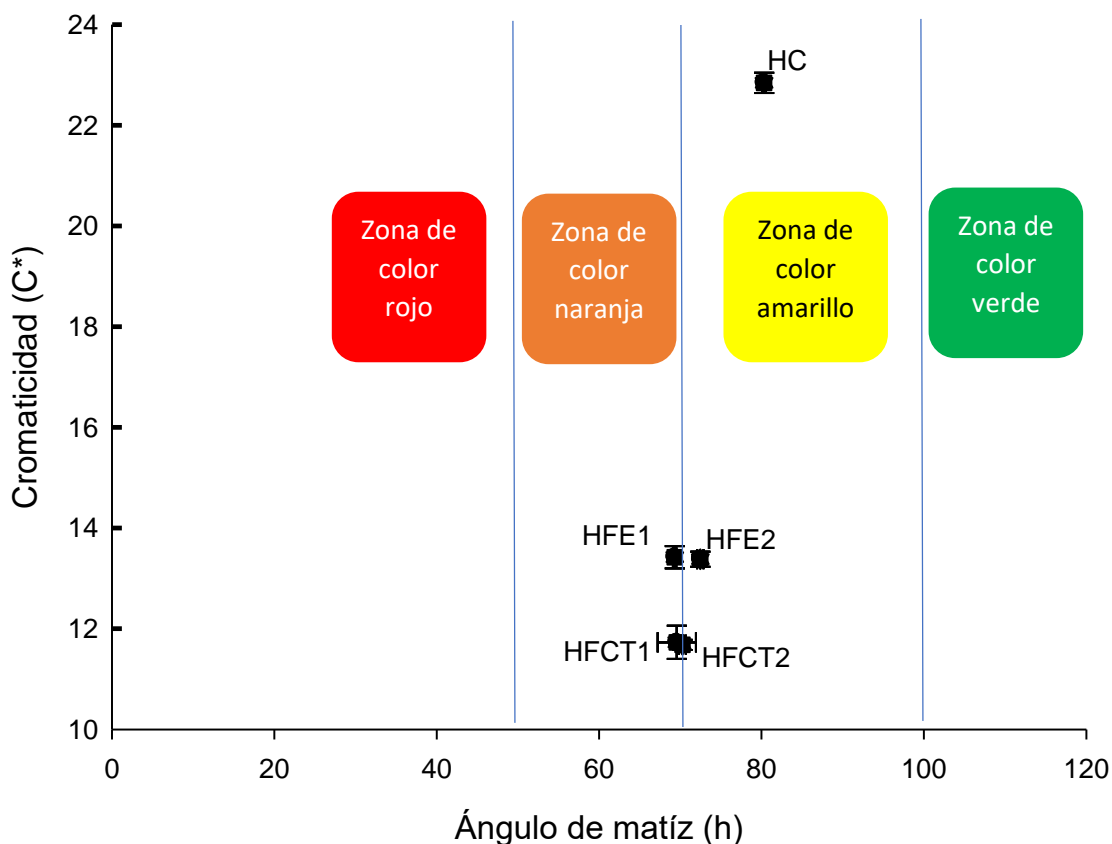


Figura 5. Localización gráfica de los valores h y C* de las cuatro formulaciones del producto tipo hummus y el hummus comercial, en las zonas de color del sistema CIELab. HC=hummus comercial; HFCT1=hummus de frijol cocido formulación 1; HFCT2=hummus de frijol cocido formulación 2; HFE1=hummus de frijol extrudido formulación 1; HFE2=hummus de frijol extrudido formulación 2.

De acuerdo al ángulo de matiz en la Figura 5, las cuatro formulaciones de producto tipo hummus se encuentran entre la zona de color naranja y color amarillo, a diferencia de HC, el cual se encuentra completamente en la zona del color amarillo. Por otro lado, de acuerdo al valor de cromaticidad, las cuatro formulaciones de producto tipo hummus son más acromáticas, en comparación con HC, cuyo color es más brillante (Figura 6). Estas diferencias en los parámetros de color son principalmente atribuidas al cambio de leguminosa, al ser este el componente principal de este producto (Andrés-Jiménez, 2013). Dado que el hummus original

está hecho de garbanzo, algunos autores como Alvarez *et al.*, (2016), reportaron valores de h para un hummus de garbanzo de 88.84, lo cual hace a su muestra de un amarillo más centrado dentro de su zona. Sin embargo, su valor de C* es de 14.30, ubicando su muestra en una zona de cromática similar a las muestras de producto tipo hummus a base de frijol común. Estas diferencias, se atribuyen a la diferencia variedades y cosechas de las leguminosas empleadas para la elaboración del producto, ya que la calidad y contenido de algunos compuestos, tales como almidones y taninos, repercuten de forma significativa en los parámetros de color de un alimento (Castro-Lara, 2009; Chávez-Mendoza y Sánchez, 2017).



Figura 6. Muestra de producto tipo hummus elaborado a base de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) y hummus de garbanzo comercial. De izquierda a derecha: HFCT1, HFCT2, HFE1, HFE2, HC. HC=hummus comercial; HFCT1=hummus de frijol cocido formulación 1; HFCT2=hummus de frijol cocido formulación 2; HFE1=hummus de frijol extrudido formulación 1; HFE2=hummus de frijol extrudido formulación 2.

6.3.3.2.pH

El pH es otro parámetro de calidad ya que puede ser indicador de contaminación microbiana. A su vez, es un factor importante asociado a la estabilidad y vida de anaquel del producto (Boussaid, *et al.*, 2015). Los resultados de pH de las cuatro formulaciones del producto tipo hummus y el hummus comercial, se muestran en el Cuadro 13.

Cuadro 13. Medición de pH en hummus comercial, hummus de frijol cocido y hummus de frijol extrudido.

Muestra	pH
HC	5.24 ± 0.04 ^b
HFCT1	5.65 ± 0.10 ^a
HFCT2	5.60 ± 0.09 ^a
HFE1	5.66 ± 0.02 ^a
HFE2	5.65 ± 0.06 ^a

HC=hummus comercial; HFCT1=hummus de frijol cocido formulación 1; HFCT2=hummus de frijol cocido formulación 2; HFE1=hummus de frijol extrudido formulación 1; HFE2=hummus de frijol extrudido formulación 2. Los resultados son la media de tres réplicas ± la desviación estándar. Diferentes letras en la misma columna expresan diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la prueba de Tukey.

De acuerdo con los valores del Cuadro 13, todas las muestras de hummus exhiben un pH ácido. Las muestras de producto tipo hummus de frijol común no presentan diferencias significativas entre sí ($p \leq 0.05$); por otro lado, estas son significativamente más neutras que HC. Estas diferencias son atribuibles al tipo de aditivo antioxidante usado en cada tipo de muestra, siendo estos el ácido ascórbico para las cuatro formulaciones de producto tipo hummus a base de frijol común, y el ácido cítrico para HC. Este último exhibe un pH más bajo, al punto de que se ha utilizado para simular el carácter ácido del jugo de limón ([Zimmermann y Gleichenhagen, 2011](#)). Otros autores, como Alvarez *et al.* (2016), reportaron un valor de pH de 4.8, el cual es más bajo que el de HC. Esta diferencia se atribuye a la presencia de jugo de limón directamente en la formulación.

6.3.3.3.Reología

La aplicación de pruebas reológicas es importante en los productos untables ya que ofrecen información excelente para comparar la naturaleza viscoelástica de los productos alimenticios ([Campo-Deaño y Tovar, 2009](#)). Primeramente, se determina la región viscoelástica lineal (RVL), donde los módulos viscoelásticos son independientes de la tensión aplicada, es decir, las tensiones y las deformaciones

son proporcionales (Muresan, *et al.*, 2014). Al determinar la RVL se obtiene el valor crítico de deformación de 0.31% tanto para los productos tipo hummus de frijol común como para HC. Este valor es mayor al reportado por Alvarez *et al.* (2016), y por Martínez-Preciado *et al.* (2019) para un hummus de garbanzo común (0.25 y 0.1%, respectivamente). Este comportamiento puede deberse al contenido de lípidos en el producto, ya que cuanto mayor sea este valor, el producto será más flexible, lo que se traduce en un valor crítico de deformación mayor (Alvarez *et al.*, 2016).

Posteriormente, se fija el valor de deformación en 0.31 para obtener el módulo elástico (G') y módulo viscoso (G'') de la muestra, mediante un barrido de frecuencia de 0.1 a 100 Hz. Estos barridos permiten obtener información sobre las interacciones moleculares dentro del alimento. Los resultados de la determinación del módulo elástico y viscoso se muestran en el Figura 7.

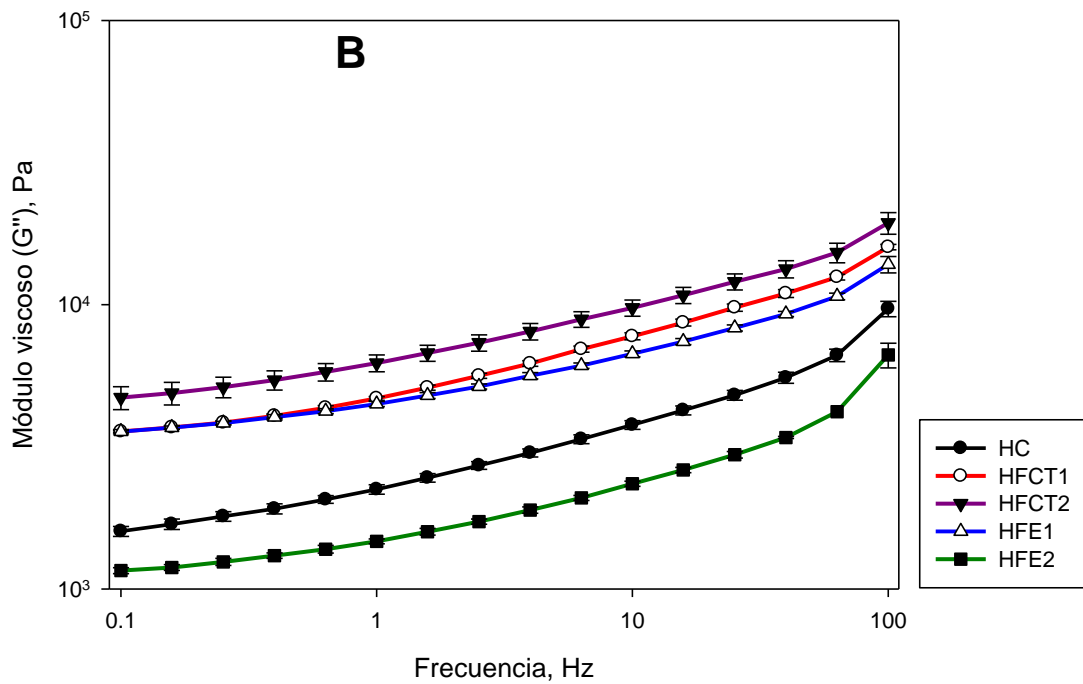
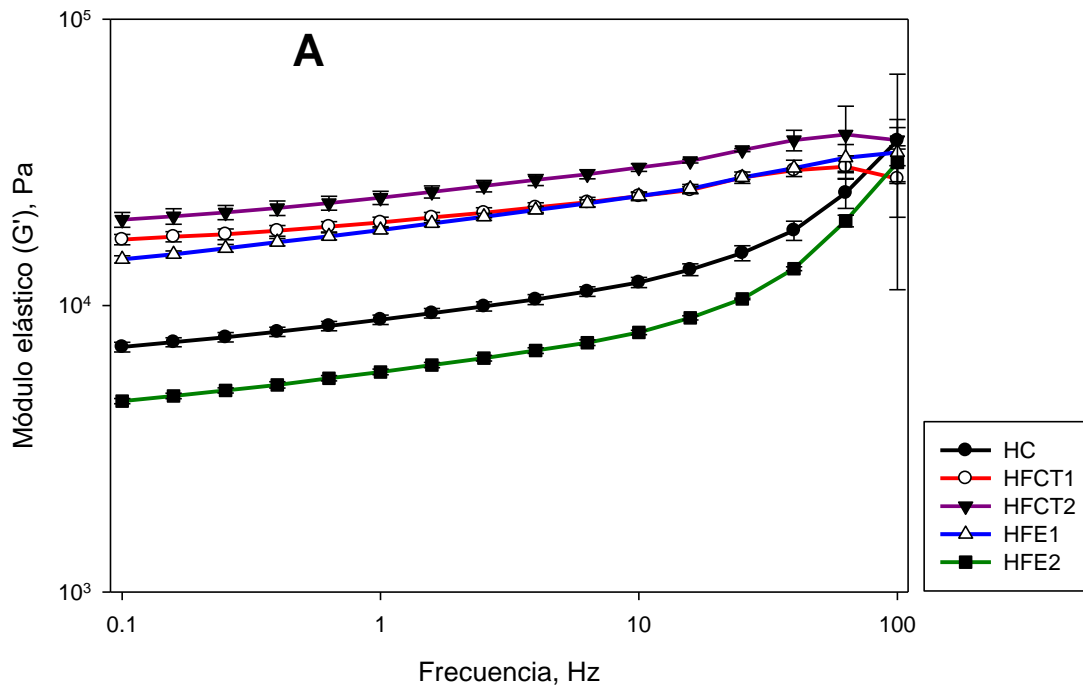


Figura 7. Barrido de frecuencias para los productos tipo hummus de frijol común y hummus comercial en el módulo elástico (A) y módulo viscoso (B). HC=humus comercial; HFCT1=humus de frijol cocido formulación 1; HFCT2=humus de frijol cocido

formulación 2; HFE1=humus de frijol extrudido formulación 1; HFE2=humus de frijol extrudido formulación 2.

De acuerdo con la Figura 7, todas las muestras presentan mayores valores de G' que de G'' en el rango de frecuencias estudiado, lo cual revela que las muestras presentan un comportamiento similar al de un sólido ($G' > G''$). Lo anterior se corresponde a lo reportado por Alvarez *et al.* (2016), y por Martínez-Preciado *et al.* (2019), para un hummus de garbanzo. Debido a que el módulo elástico G' , está directamente relacionado con la densidad de entrecruzamientos moleculares causado por la gelatinización y coagulación de almidones y la formación de agregados de las proteínas en el alimento (Alvarez y Canet, 2013), se puede observar que tanto HFCT1 como HFCT2 son pastas más duras que HFE1 y HFE2, siendo estas últimas las que presentan un comportamiento untado más similar al de HC.

6.3.4. Digestibilidad *in vitro*

6.3.4.1. Digestibilidad *in vitro* de proteínas

La determinación de la digestibilidad *in vitro* de proteínas es un factor significativo para conceptualizar la calidad que tiene la proteína de un alimento, es decir, qué tan digerible puede ser, principalmente en adultos (Singh, Gamlath y Wakeling, 2007). Los resultados de digestibilidad *in vitro* de las cuatro formulaciones del producto tipo hummus y el hummus comercial, se muestran en el Cuadro 14.

Cuadro 14. Digestibilidad *in vitro* de proteína en hummus comercial, hummus de frijol cocido y hummus de frijol extrudido.

Muestra	Digestibilidad ¹
HC	79.66 ± 0.34 ^b
HFCT1	82.21 ± 0.13 ^b
HFCT2	81.39 ± 0.22 ^b
HFE1	84.61 ± 0.26 ^a
HFE2	83.49 ± 0.13 ^b
Caseína	94.89 ± 3.84

HC=hummus comercial; HFCT1=hummus de frijol cocido formulación 1; HFCT2=hummus de frijol cocido formulación 2; HFE1=hummus de frijol extrudido formulación 1; HFE2=hummus de frijol extrudido formulación 2. Los resultados son la media de tres réplicas \pm la desviación estándar. Diferentes letras en la misma columna expresan diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la prueba de Tukey. ¹Porcentaje (%).

De acuerdo con los datos presentados en el Cuadro 14, la muestra HFE1 es la que exhibe una mayor digestibilidad en comparación con el resto de muestras, incluyendo HC ($p \leq 0.05$). Lo anterior se puede atribuir a que se ha reportado que en la extrusión se incrementa la digestibilidad de las proteínas, debido a que hay un mayor grado de desnaturalización de estas e inactivación de factores antinutricios (Singh, Gamlath y Wakeling, 2007). Es importante denotar que en las formulaciones que contienen un mayor contenido de tahina (HFCT2 y HFE2), la digestibilidad disminuye ligeramente con respecto a las formulaciones con menos tahina. Este efecto se nota más entre HFE1 y HFE2, donde la diferencia es estadísticamente significativa ($p \leq 0.05$). lo anterior, puede deberse al alto contenido de lípidos de la tahina, pues se sabe que estos pueden ser incluidos como parte de los factores exógenos que contribuyen a disminuir la digestibilidad de la proteína (Duodu *et al.*, 2003).

6.3.4.2. Digestibilidad *in vitro* de carbohidratos

Los resultados de la digestibilidad *in vitro* de carbohidratos de las cuatro formulaciones del producto tipo hummus y el hummus comercial, se muestran en el Cuadro 15.

Cuadro 15. Contenido de almidón total, disponible y resistente en hummus comercial, hummus de frijol cocido y hummus de frijol extrudido.

Muestra	Almidón total ¹	Almidón disponible ¹	Almidón resistente ¹
HC	11.48 \pm 0.18 ^c	9.30 \pm 0.20 ^b	2.18 \pm 0.03 ^c
HFCT1	13.44 \pm 0.25 ^b	9.93 \pm 0.61 ^b	3.51 \pm 0.02 ^b
HFCT2	13.54 \pm 0.49 ^b	10.62 \pm 0.35 ^b	2.92 \pm 0.21 ^b
HFE1	15.08 \pm 0.38 ^a	10.08 \pm 0.88 ^b	5.00 \pm 0.58 ^a

HFE2	15.28 ± 0.29 ^a	11.80 ± 0.26 ^a	3.48 ± 0.12 ^b
------	---------------------------	---------------------------	--------------------------

HC=hummus comercial; HFCT1=hummus de frijol cocido formulación 1; HFCT2=hummus de frijol cocido formulación 2; HFE1=hummus de frijol extrudido formulación 1; HFE2=hummus de frijol extrudido formulación 2. Los resultados son la media de tres réplicas ± la desviación estándar. Diferentes letras (minúsculas) en la misma columna expresan diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la prueba de Tukey. ¹Porcentaje.

De acuerdo con los datos presentados en el Cuadro 15, los productos tipo hummus de frijol común tienen mayor contenido de almidón total comparadas contra HC ($p \leq 0.05$). A sí mismo, no existe mayor diferencia significativa en el contenido de almidón disponible, salvo por HFE2, que presenta el mayor entre las cinco muestras. Estas similitudes pueden atribuirse a que los procesos de cocción no sean lo suficientemente efectivos para provocar una mayor gelatinización del almidón (Ovando-Martínez *et al.*, 2011). En el caso de los productos tipo hummus a base de frijol extrudido, se sabe que las moléculas ramificadas de amilopectina se vuelven susceptibles al esfuerzo cortante del tornillo del extrusor. Sin embargo, para que este tenga un mayor efecto sobre las moléculas de amilopectina, las condiciones de operación deben ser más extremas, como una temperatura mayor a 160°C y una humedad de alimentación del 20% (Singh, Gamlath y Wakeling, 2007). En el caso de HFE2, esta formulación contiene más tahina que HFE1. Obeidat *et al.* (2019), reportaron que la sustitución de harina de soya por harina de semilla de sésamo incrementó ligeramente la digestibilidad de carbohidratos complejos de alimento para ovejas sin incrementar el contenido de los mismos. Debido a lo anterior se deduce que el incremento de almidón disponible en HFE2 se debe a la mayor presencia de tahina. Por otro lado, las cuatro muestras de producto tipo hummus de frijol común presentan un mayor contenido de almidón resistente. Debido a lo anterior, se deduce que el cambio de leguminosa resulta benéfico para el incremento de este tipo de compuestos, como ya se mostraba desde la presencia de un mayor contenido de fibra dietaria.

7. Conclusiones

El Producto tipo hummus de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad Bayo Madero comercial mostró propiedades reológicas similares a las de un hummus de garbanzo comercial, siendo los producidos mediante el método de cocción por extrusión, los que más se acercan a este comportamiento. A su vez, las cuatro formulaciones de hummus a base de frijol común presentan un mejor perfil nutracéutico. Por otro lado, estas presentaron un perfil proximal que permite que el producto sólo posea el sello de “Exceso de sodio” con base en la normativa vigente NOM-051-SCFI/SSA1-2010, siendo éste el mismo sello que posee el hummus comercial. Es de destacar que, la sustitución del garbanzo por frijol común permitió obtener productos con un contenido mayor de fibra que un hummus comercial, llegando a niveles suficientes como para poder ser declarados como productos “altos en fibra” según las directrices para el uso de declaraciones nutricionales y saludables del Codex Alimentarius. Lo anterior permitió que la formulación 1 de ambos procesos de cocción mostraran una disminución significativa del aporte calórico con respecto al hummus comercial. Si bien, esta disminución no es suficiente para poder hacer la declaración de producto “Reducido en calorías”, la formulación 1 de producto tipo hummus de frijol común cocido por extrusión es el que muestra una mejora en la digestibilidad de proteínas, por lo que se define como la mejor opción en cuanto a perfil nutrimental y nutracéutico comparada con el hummus comercial. Sin embargo, es necesario realizar pruebas sensoriales que avalen a este producto como uno competente en el mercado mexicano.

8.Referencias.

- Aguilera, Y., Martín-Cabrejas, M. A., Benítez, V., Mollá, E., López-Andréu, F. J., & Esteban, R. M. (2009). Changes in carbohydrate fraction during dehydration process of common legumes. *Journal of Food Composition and Analysis*, 22(7–8), 678–683. doi:10.1016/j.jfca.2009.02.012.
- Ai, Y., Cichy, K. A., Harte, J. B., Kelly, J. D., & Ng, P. K. W. (2016). Effects of extrusion cooking on the chemical composition and functional properties of dry common bean powders. *Food Chemistry*, 211, 538–545. doi:10.1016/j.foodchem.2016.05.095
- Almanza-Aguilera, E., Guzmán-Tovar, I., Acosta-Gallegos, J. A., & Guzmán-Maldonado, S. H. (2006). Contenido de fitoquímicos en grano de frijol Negro cocido y refrito. In *Proceedings of the Memoria del Congreso Internacional de Industria y Tecnología Alimentaria [Content of Phytochemicals in Beans of Cooked and Refried BLACK Beans. Report of the International Congress of Industry and Food Technology]*, Puebla, Mexico (Vol. 31).
- Alvarez, M. D., & Canet, W. (2013) Dynamic viscoelastic behavior of vegetable-based infant purees. *J. Texture Stud.* 44(3), 205–224. doi:10.1111/jtxs.12011.
- Alvarez, M. D., Fuentes, R., Guerrero, G., & Canet, W. (2016). Characterization of commercial Spanish hummus formulation: Nutritional composition, rheology, and structure. *International Journal of Food Properties*, 20(4), 845–863. doi:10.1080/10942912.2016.1186692.
- Andrés-Jiménez, C. (2013). Determinación de descriptors sensoriales para un product untable a base de frijol gandul (*Cajanus cajan*) mediante dos minigrupos focales. *UNED Research Journal.* 5(2), 307-317. doi:10.22458/urj.v5i2.264

- AOAC. (2002). Official methods of analysis (Vol. 222). Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists.
- Aparicio-Fernández, X., Yousef, G. G., Loarca-Piña, G., de Mejía, E., & Lila, M. A. (2005). Characterization of polyphenolics in the seed coat of black Jamapa bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of agricultural and food Chemistry*. 53, 4615-4622. doi:10.1021/jf047802o.
- Avieli, N. (2015). Las guerras del hummus: Comida local, Record Guinness y gastropolítica Palestino-Israelí. *Estudios de Asia y África*. 50(3), 569 – 591.
- Badui-Dergal, S. (2013). *Química de los alimentos*. 5ta. Edición. Pearson, México.
- Bandaró, M. (2016). Alimentación saludable en Shangai: Notas exploratorias. *Salud colectiva*. 12(4), 651 – 664.
- Batista, K. A., Prudencio, S. H., & Fernandes, K. F. (2010). Changes in the functional properties and antinutritional factors of extruded hard-to-cook common beans (*Phaseolus vulgaris*, L.). *Journal of food science*. 75(3), C286-C290. doi:10.1111/j.1750-3841.2021.01557.x.
- Bhandari, B., D'Arcy, B. & Young, G. (2001). Flavour retention during high temperature short time extrusion cooking process: a review. *International Journal of Food Science and Technology*. 36(5), 453–461. doi:10.1046/j.1365-2621.2001.00495.x.
- Boskou, D. (2012). *Mediterra: The Mediterranean Diet for Sustainable Regional Development*. <http://www.cairn.info/mediterrra-2012-english--9782724612486.htm>.
- Boussaid, A., Chouaibi, M., Rezig, L., Missaoui, R., Donsí, F., Ferrari, G., & Hamdi, S. (2015). Physicochemical, rheological, and thermal properties of six types of honey from various floral origins in Tunisia. *International journal of food properties*. 18(12), 2624-2637. doi:10.1080/10942912.2014.1001072.

- Brennan, C., Brennan, M., Derbyshire, E., & Tiwari, B. K. (2011). Effects of extrusion on the polyphenols, vitamins and antioxidant activity of foods. *Trends in Food Science & Technology*, 22(10), 570–575. doi:10.1016/j.tifs.2011.05.007
- Cabrera-Ramírez, A. H., Morales-Sánchez, E., Méndez-Montevalvo, G., Velazquez, G., Rodríguez-García, M. E., Villamiel, M., & Gaytán-Martínez, M. (2021). Structural changes in popped sorghum starch and their impact on the rheological behavior. *International Journal of Biological Macromolecules*, 186, 686–694. doi:10.1016/j.ijbiomac.2021.07.018
- Calvo, C. & Duran, L. (2002). *Propiedades Físicas II: Ópticas y Color*. Tecnología de Alimentos Vol. 1. CITED-IPN. Editorial Alfa y Omega. México, D.F.
- Camire, M. E. (2000). Chemical and nutritional changes in food during extrusion. Camire, M. E. En: *Extruders in Food Applications*. Pp. 127–147.
- Campo-Deaño, L. & Tovar, C. A. (2009). The Effect of Egg Albumen on the Viscoelasticity of Crab Sticks Made from Alaska Pollock and Pacific Whiting Surimi. *Food Hydrocolloids*, 23(7), 1641–1646. doi:10.1016/j.foodhyd.2009.03.013.
- Campos-Vega, R., Reynoso-Camacho, R., Pedraza-Aboytes, G., Acosta-Gallegos, J. A., Guzman-Maldonado, S. H., Paredes-Lopez, O., Oomah, B. D., & Loarca-Piña, G. (2009). Chemical Composition and *In Vitro* Polysaccharide Fermentation of Different Beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Food Science*, 74(7), T59–T65. doi:10.1111/j.1750-3841.2009.01292.x
- Cardador-Martínez, A., Castaño-Tostado, E., & Loarca-Piña, G. (2002). Antimutagenic activity of natural phenolic compounds present in the common bean (*Phaseolus vulgaris*) against aflatoxin B1. *Food Additives and Contaminants*, 19(1), 62–69. doi:10.1080/02652030110062110
- Carvalho, C. W., & Mitchelle, J. R. (2000). Effect of sugar on the extrusion of maize grits and wheat flour. *International Journal of Food Science and Technology*, 35(6), 569–576. Doi:10.1111/j.1365-2621.2000.00454.x

- Carvalho, L. M., Corrêa, M. M., Pereira, E. J., Nutti, M. R., Carvalho, J. L., Ribeiro, E. M., & Freitas, S. C. (2012). Iron and zinc retention in common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) after home cooking. *Food & Nutrition Research*, 56, 1561-1568. doi:10.3402/fnr.v56i0.15618.
- Castells, M., Marin, S., Sanchis, V. & Ramos, A.J. (2005). Fate of mycotoxins in cereals during extrusion cooking: a review. *Food Additives and Contamination*, 22, 150–157. doi:10.1080/02652030500037969.
- Castro-Lara, M. C. (2009). Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de la patata para fritura. (Trabajo de fin de grado). <https://1library.co/document/z3d0lk9y-evaluacion-propiedades-fisico-quimicas-sensoriales-patata-fritura.html>
- Cervantes-Ramírez, J. E., Cabrera-Ramirez, A. H., Morales-Sánchez, E., Rodríguez-García, M. E., de la Luz Reyes-Vega, M., Ramírez-Jiménez, A. K., ... & Gaytán-Martínez, M. (2020). Amylose-lipid complex formation from extruded maize starch mixed with fatty acids. *Carbohydrate Polymers*, 246, 116555. doi:10.1016/j.carbpol.2020.116555.
- Chaves, A. (2010). Cocina vegetariana: recetas con garbanzo. Recetas by Suite101. Recuperado de <http://suite101.net/article/hummus-de-garbanzo-a21178>.
- Chávez-Mendoza, C., & Sánchez, E. (2017). Bioactive Compounds from Mexican Varieties of the Common Bean (*Phaseolus vulgaris*): Implications for Health. *Molecules*. 22(8), 1360. doi:10.3390/molecules22081360
- Codex Alimentarius. (1997). Directrices para el uso de declaraciones nutricionales y saludables. *CAC/GL*, 23-1997.
- CODEX STAN 257R – 2007, Codex Alimentarius, FAO/WHO. Recuperado de: http://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/es/?Ink=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXS%2B257R-2007%252Fcxs_257Rs.pdf. Consultado en octubre de 2021.

- Cuevas-Nasu, L., Gaona-Pineda, E. B., Rodríguez-Ramírez, S., Morales-Ruán, M. C., González-Castell, L. D., García-Feregrino, R., Gómez-Acosta, L. M., Ávila-Arcos, M. A., Shamah-Levy, T., & Rivera-Dommarco, J., (2019). Desnutrición crónica en población infantil de localidades con menos de 100 000 habitantes en México. *Salud Publica Mex.* 61, 833-840. doi:10.21149/10642
- De la Cruz-Góngora, V., Martínez-Tapia, B., Cuevas-Nasu, L., Rangel-Baltazar, E., Medina-Zacarías, M. C., García-Guerra, A., Villalpando, S., Rebollar, R., & Shamah-Levy, T. (2019). Anemia, deficiencias de zinc y hierro, consumo de suplementos y morbilidad en niños mexicanos de 1 a 4 años: resultados de la Ensanut 100k. *Salud Publica Mex.* 61, 821-832. doi:10.21149/10557.
- De Pilli, T., Jouppila, K., Ikonen, J., Kansikas, J., Derossi, A., & Severini, C. (2008). Study on formation of starch–lipid complexes during extrusion-cooking of almond flour. *Journal of Food Engineering*, 87(4), 495-504. doi:10.1016/j.jfoodeng.2007.12.028.
- Deshpande, S. S., & Cheryan, M. (1985). Evaluation of Vanillin Assay for Tannin Analysis of Dry Beans. *Journal of Food Science.* 50, 905-910. doi:10.1111/j./1365-2621..1985.tb12977.x.
- Drewnowski, A. (2009). Obesity, diets and social inequalities. *Nutr Rev.* 67(1), 36-39. doi:10.1111/j.1753-4887.2009.00157.x
- Duodu, K., Taylor, J. R. ., Belton, P., & Hamaker, B. . (2003). *Factors affecting sorghum protein digestibility.* *Journal of Cereal Science*, 38(2), 117–131. doi:10.1016/s0733-5210(03)00016-X.
- Eastman, J., Orthoefer, F. & Solorio, S. (2001). Using extrusion to create breakfast cereal products. *Cereal Foods World*, 46, 468–471.
- El-Adawy, T. A., & Mansour, E. H. (2000). *Nutritional and physicochemical evaluations of tahina (sesame butter) prepared from heat-treated sesame seeds.* *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 80(14), 2005–2011. doi:10.1002/1097-0010(200011)80:14<2005::aid-jsfa740>3.0.co;2-j

- Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT). (2018). <https://ensanut.insp.mx/encuestas/ensanut2018/index.php> Consultado en Marzo de 2020
- Escobedo, A., Loarca-Piña, G., Gaytan-Martínez, M., Orozco-Avila, I., & Mojica, L. (2020). Autoclaving and extrusion improve the functional properties and chemical composition of black bean carbohydrate extracts. *Journal of Food Science*, 85(9), 2783-2791. doi:10.1111/1750-3841.15356.
- Feregrino-Pérez, A. A., Berumen, L. C., García-Alcocer, G., Guevara-González, R. G., Ramos-Gómez, M., Reynoso-Camacho, R., & Acosta-Gallegos, J. A. (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. doi:10.1021/jf8007162.
- Fernández-Valenciano, A. F., & Sánchez-Chávez, E. (2017). Estudios de las propiedades fisicoquímicas y calidad nutricional en distintas variedades de frijol consumidas en México. *Nova Scientia*. 9(18), 133-148. doi:10.21640/ns.v9i18.763.
- Fideicomisos Instituidos en Relación con la Agricultura (FIRA). (2020). Panorama agroalimentario del frijol 2019. <https://www.inforural.com.mx/panorama-agroalimentario-del-frijol-2019/> Consultado en abril de 2020.
- Florez, A., Pujolà, M., Valero, J., Centelles, E., Almirall, A., & Casañas, F. (2009). Genetic and environmental effects on chemical composition related to sensory traits in common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food Chemistry*, 113(4), 950-956. doi:10.1016/j.foodchem.2008.08.036.
- Fukumoto, L. R., & Mazza, G. (2000). Assessing antioxidant and prooxidant activities of phenolic compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48(8), 3597–3604. doi:10.1021/jf000220w.

- González de Mejía, E., & Prisecaru, V. (2005). Lectins as bioactive plant proteins: A potential in cancer treatment. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45, 425–445. doi:10.1080/10408390591034445.
- González-Castell, D., González-Cossío, T., Barquera, S., & Rivera J. A. (2007). Alimentos industrializados en la dieta de los preescolares mexicanos. *Salud Pública de México*. 49(5), 345-356.
- Goñi, I., García-Alonso, A., & Saura-Calixto, F. (1997). A STARCH HYDROLYSIS PROCEDURE TO ESTIMATE GLYCEMIC INDEX. *Nutrition Research*. 17(3), 427-437. doi:10.1016/S0271-5317(97)00010-9.
- Greenfield, H., & Southgate, D. A. T. (2006). *Datos de composición de alimentos: obtención, gestión y utilización*. Food & Agriculture Organization.
- Guy, R. (2001). *Extrusion Cooking: Technologies and Application*. Pp. 3–5. Cambridge: Woodhead Publishing Ltd.
- Hernández-Saavedra, D., Mendoza-Sánchez, M., Hernández-Montiel, H. L., Guzmán-Maldonado, H. S., Loarca-Piña, G. F., Salgado, L. M., & Reynoso Camacho, R. (2013). Cooked common beans (*Phaseolus vulgaris*) protect against β -cell damage in streptozotocin-induced diabetic rats. *Plant foods for human nutrition (Dordrecht, Netherlands)*, 68(2), 207–212. doi:10.1007/s11130-013-0353-1
- Hoces de la Guardia Ch, S., Brugnoli, P., & Jélvez, P. (2011). Registro cromático en textiles de la cultura Arica en el período intermedio tardío: caso inkuñas. *Boletín del Museo Chileno de Arte Precolombino*, 16(1), 67-92. doi:10.4067/S0718-68942011000100005.
- Hsu, H. W., Vavak, D. L., Satterlee, L. D., & Miller, G. A. (1977). A multienzyme technique for estimating protein digestibility. *Journal of Food Science*, 42(5), 1269–1273. doi:10.1111/j.1365-2621.1977.tb14476.x.

- Huang, T., & Zhang, X. (2015). Dietary Fiber Intake and Mortality from All Causes, Cardiovascular Disease, Cancer, Infectious Diseases and Others: A Meta-Analysis of 42 Prospective Cohort Studies with 1,752,848 Participants. *N. Am. J. Med. Sci.* 8, 59–67. doi:10.7156/najms.2015.0802059.
- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). (2020). Variedades de frijol liberadas por el INIFAP nutren a México. <https://www.gob.mx/inifap/articulos/variedades-de-frijol-liberadas-por-el-inifap-nutren-a-mexico?idiom=es> Consultado en abril de 2020
- Jenkins, W. M., Jenkins, A. E., Jenkins, A. L., & Brydson, C. (2020). Recipes. The Portfolio Diet for Cardiovascular Disease Risk Reduction. 61-179. doi:10.1016/b978-0-12-810510-8.00005-4.
- Johnson, M. E., Clark, W. A., Dahlman, S. E., Elrod, W. D., & Stanage, C. M. (2014). Betalain in beets enhance antioxidant activity in hummus. *Journal of the academy of nutrition and dietetics*. doi:10.1016/j.jand.2014.06.158
- Klug, T. V., Martínez-Hernández, G. B., Collado, E., Artés, F., & Artés-Hernández, F. (2018). *Effect of Microwave and High-Pressure Processing on Quality of an Innovative Broccoli Hummus*. *Food and Bioprocess Technology*, 11(8), 1464–1477. doi:10.1007/s11947-018-2111-8
- Kutoš, T., Golob, T., Kač, M., & Plestenjak, A. (2003). *Dietary fibre content of dry and processed beans*. *Food Chemistry*, 80(2), 231–235. doi:10.1016/s0308-8146(02)00258-3.
- Lajolo, F., & Genovese, M. (2002). Nutritional significance of lectins and enzyme inhibitors from legumes. *Journal of Agricultural Food and Chemistry*., 50, 6592–6598. doi:10.1021/jf020191k
- Lobo, V., Patil, A., Phatak, A., & Chandra, N. (2010). Free radicals, antioxidants and functional foods: Impact on human health. *Pharmacognosy Reviews*, 4(8), 118. doi:10.4103/0973-7847.70902

- Martínez-Hernández, G. B., Artés-Hernández, F., Colares-Souza, F., Gómez, P. A., García-Gómez, P., & Artés, F. (2013). Innovative cooking techniques for improving the overall quality of a kailan-hybrid broccoli. *Food and Bioprocess Technology*, 6(8), 2135–2149. doi:10.1007/s11947-012-0871-0.
- Martínez-Preciado, A. H., Ponce-Simental, J. A., Schorno, A. L., Contreras-Pacheco, M. L., Michel, C. R., Rivera-Ortiz, K. G., & Soltero, J. F. A. (2019). *Characterization of nutritional and functional properties of “Blanco Sinaloa” chickpea (Cicer arietinum L.) variety, and study of the rheological behavior of hummus pastes*. *Journal of Food Science and Technology*. doi:10.1007/s13197-019-04220-8
- Mejía-Rodríguez, F., Mundo-Rosas, V., Rodríguez-Ramírez, S., Hernández, M., García-Guerra, A., Rangel-Baltazar, E., Gómez-Acosta, L. M., & Shamah-Levy, T. (2019). Alta prevalencia de anemia en mujeres mexicanas en pobreza, Ensanut 100k. *Salud Publica Mex.* 61, 841-851. doi:10.21149/10558
- Muhammad, A., Lloyd, W. R., Rashida, A., & Mian, N. R. (2013). Application and opportunities of pulses in food system: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 53(11), 1168-1179. doi:10.1080/10408398.2011.574804.
- Mujica, M.V.; Granito, M.; Soto, N. (2012). Variación de los compuestos fenólicos de *Phaseolus vulgaris* L. durante el almacenamiento y su relación con el endurecimiento [Variation of phenolic compounds of *Phaseolus vulgaris* L. during storage and their relationship to hardening]. *Bioagro*. 24, 163–174.
- Mundo-Rosas, V., Unar-Munguía, M., Hernández-F, M., Pérez-Escamilla, R., & Shamah-Levy, T. (2019). La seguridad alimentaria en los hogares en pobreza de México: una mirada desde el acceso, la disponibilidad y el consumo. *Salud Pública Mex.* 61, 866-875. doi:10.21149/10579.
- Muñoz, J., Alfaro, M. D., & Zapata, I. (2007). Avances en la formulación de emulsiones. *Grasas y aceites*, 58(1), 64-73.

- Muresan, V., Danthine, S., Racolta, E., Muste, R., & Blecker, C. (2014). The Influence of Particle Size Distribution on Sunflower Tahini Rheology and Structure. *Journal of Food Process Engineering*, 37, 411–426. doi:10.1111/jfpe.12097.
- Nenadis, N., Wang, L., Tsimidou, M., & Zhang, H. (2004). Estimation of scavenging activity of phenolic compounds using the ABTS^{•+} assay. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52, 4669–4674. doi:10.1021/jf0400056.
- NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-051-SCFI/SSA1-2010, ESPECIFICACIONES GENERALES DE ETIQUETADO PARA ALIMENTOS Y BEBIDAS NO ALCOHOLICAS PREENVASADOS-INFORMACION COMERCIAL Y SANITARIA. Diario oficial. https://www.dof.gob.mx/2020/SEECO/NOM_051.pdf
- Oomah, B. D., Cardador-Martínez, A., & Loarca-Piña, G. (2005). Phenolics and antioxidative activities in common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *J. Food Science and Agriculture*, 85, 935-942. doi:10.1002/jsfa.2019.
- Organization for Economic Co-operation and Development (OECD). (2017). Obesity Update 2017. Paris: OECD. <https://www.oecd.org/health/obesity-update.htm>
- Ovando-Martínez, M., Osorio-Díaz, P., Whitney, K., Bello-Pérez, L. A., & Simsek, S. (2011). *Effect of the cooking on physicochemical and starch digestibility properties of two varieties of common bean (Phaseolus vulgaris L.) grown under different water regimes. Food Chemistry*, 129(2), 358–365. doi:10.1016/j.foodchem.2011.04.08
- Paredes, M., Becerra, V., & Tay, J. (2009). Inorganic nutritional composition of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes race Chile. *Chilean Journal of Agricultural Research*, 69, 486–495. doi:10.4067/S0718-58392009000400002
- Paredes-López, O., Guevara-Lara, F., & Bello-Pérez, L. A. (2013). *Los Alimentos Mágicos de las Culturas Indígenas Mesoamericanas*. México DF, México: Fondo Nacional de Cultura Económica.

- Plahar, W. A., Onuma Okezie, B., & Gyato, C. K. (2003). Development of a high protein weaning food by extrusion cooking using peanuts, maize and soybeans. *Plant Foods for Human Nutrition*, 58, 1–12. doi:10.1023/b:qual.0000041157.35549.b3
- Reister, E. J., Belote, L. N., & Leidy, H. J. (2020). The benefits of including hummus and hummus ingredients into the american diet to promote diet quality and health: A comprehensive review. *Nutrients*, 12(12), 3678. doi:10.3390/nu12123678.
- Reyes-Moreno, C., & Paredes-López, O. (1993). Hard-to-cook phenomenon in common beans — A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 33(3), 227-286. doi:10.1080/10408399309527621
- Reyes-Moreno, C., Argüelles-López, O. D., Rochín-Medina, J. J., Milán-Carrillo, J., Rivera-López, J., Valdez-Ortiz, A., & Gutiérrez-Dorado, R. (2012). High antioxidant activity mixture of extruded whole quality protein maize and common bean flours for production of a nutraceutical beverage elaborated with a traditional Mexican formulation. *Plant foods for human nutrition*, 67(4), 450-456. doi:10.1007/s11130-012-0324-y.
- Reynoso-Camacho, R., Ramos-Gomez, M., & Loarca-Pina, G. (2006). Bioactive components in common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) (Research Signpost). *Advances in Agricultural and Food Biotechnology*, 217–36.
- Reynoso-Camacho, R., Ríos-Ugalde, M. C., Torres-Pacheco, I., Acosta-Gallegos, J. A., Palomino-Salinas, A. C., Ramos-Gómez, M., González-Jasso, E., & Guzmán-Maldonado, S. H. (2007). Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) consumptions and its effects on colon cancer in Sprague-dawley rats. *Agricultura Técnica en México*. 33(1), 43–52.
- Rizki, H., Kzaiber, F., Elharfi, M., Latrache, H., Zahir, H., & Hanine, H. (2014). Physicochemical characterization and in vitro antioxidant capacity of 35 cultivars of sesame (*Sesamum indicum* L.) from different areas in Morocco. *Int J Sci Res*, 3, 2306-2311.

- Rocha-Guzmán, N. E., Gallegos-Infante, J. A., Gonzalez-Laredo, R. F., Cardoza-Cervantes, V., Reynoso-Camach, R., Ramos-Gomez, M. García-Gasca, T. & De Anda Salazar, A. (2013). Evaluation of culinary quality and antioxidant capacity for Mexican common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) canned in pilot plant. *International Food Research Journal*, 20, 1087-1093.
- Rocha-Guzmán, N. E., González-Laredo, R. F., Ibarra-Pérez, F. J., Nava-Berúmen, C. A., & Gallegos-Infante, J.-A. (2007). *Effect of pressure cooking on the antioxidant activity of extracts from three common bean (Phaseolus vulgaris L.) cultivars*. *Food Chemistry*, 100(1), 31–35. doi:10.1016/j.foodchem.2005.09.005
- Rocha-Guzmán, N. E., González-Laredo, R. F., Ibarra-Pérez, F. J., Nava-Berúmen, C. A., & Gallegos-Infante, J. A. (2007). *Effect of pressure cooking on the antioxidant activity of extracts from three common bean (Phaseolus vulgaris L.) cultivars*. *Food Chemistry*, 100(1), 31–35. doi:10.1016/j.foodchem.2005.09.005
- Rodríguez, H. B. (2015). Abasto y consumo de alimentos: Una perspectiva nutricional. M. d. Rivera. El desarrollo agrícola y rural del tercer mundo en el contexto de la mundialización. Pp. 433-452. <http://dsp.facmed.unam.mx/wp-content/uploads/2015/11/alimentos.pdf>
- Rodríguez-Licea, G., García-Salazar, J., Rebollar-Rebollar, B., & Cruz-Contreras, A. (2010). Preferencias del consumo de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en México: factores y características que influyen en la decisión de compra diferenciada por tipo y variedad. *Paradigma Económico*. 2(1), 121-145.
- Sadeghi, N., Vafi, M. R., Jannat, B., Behzad, M., Oveisi, M. R., & Hajimahmoodi, M. (2020). Evaluation of Total Antioxidant Activity and Total Phenolic Content of Different Tahini (Sesame Paste) Brands in Iran's Market. *Medical Laboratory Journal*, 14(2), 13-19.
- Saura-Calixto, F., Goñi, I., Bravo, L., & Mañas, E. (1993). Resistant Starch in Foods: Modified Method for Dietary Fiber Residues. *Journal of food science*. 58(3), 642-643. doi:10.1111/j.1365-2621.1993.tb04346.x.

- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca, y Alimentación (SAGARPA). (2017). Planeación Agrícola Nacional 2017 – 2030. <https://www.gob.mx/agricultura/acciones-y-programas/planeacion-agricola-nacional-2017-2030-126813> Consultado en marzo de 2020.
- Shahidi, F. (1995). Food phenolics: Sources chemistry effects applications, phenolic compounds in cereal and legumes. Technomic publishing company, Inc. p. 13-18.
- Shiga, T. M., Lajolo, F. M., & Filisetti, T. M. C. C. (2003). Cell wall polysaccharides of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 23(2), 141–148.
- Singh, S., Gamlath, S., & Wakeling, L. (2007). Nutritional aspects of food extrusion: a review. *International Journal of Food Science & Technology*, 42(8), 916-929. doi:10.1111/j.1365-2621.2006.01309.x.
- Singleton, V. L., & Rossi., J.A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16, 144–158.
- Tiwari, B. K., Gowen, A., & McKenna, B. (2011). Pulse foods: Processing, quality and nutraceutical applications. En: *Food, science and technology, international series* (pp. 131, 138, 139, 386). San Diego, CA: EU: Academic Press, Elsevier.
- Tolentino-Mayo, L., Rincón-Gallardo Patiño, S., Bahena-Espina, L., Ríos, V., & Barquera, S. (2018). Conocimiento y uso del etiquetado nutrimental de alimentos y bebidas industrializados en México. *salud pública de méxico*, 60, 328-337. doi:10.21149/8825.
- Treviño-Mejía, D., (2013) Desarrollo y evaluación nutrimental y nutracéutica de tortillas a base de maíz nixtamalizado y frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) [Tesis de maestría. Programa de posgrados del centro de la república, PROPAC. Universidad autónoma de Querétaro. México].

- UNICEF. (2013). La desnutrición infantil: Causas, consecuencias y estrategias para su prevención y tratamiento. Madrid: UNICEF Spain; Recuperado de: <http://www.unicef.es/sites/www.unicef.es/files/Dossierdesnutricion.pdf>.
- Vasanthan, T., Gaosong, J., Yeung, J. & Li, J. (2002). Dietary fibre profile of barley flour as affected by extrusion cooking. *Food Chemistry*, 77, 35–40. doi:10.1016/S0308-8146(01)00318-1.
- Venkateswaran, S. M. P., & Pari, L. (2002). Antioxidant effect of *Phaseolus vulgaris* in streptozotocin-induced diabetic rats. *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*. 11, 206–209. doi:10.1046/j.1440-6047.2002.00292.x
- Wallace, T. C., Murray, R., & Zelman, K. M. (2016). The nutritional value and health benefits of chickpeas and hummus. *Nutrients*, 8(12), 766. doi:10.3390/nu8120766.
- World Health Organization (WHO). (2016). ¿Qué es la malnutrición? Consultado en marzo de 2020: <https://www.who.int/features/qa/malnutrition/es/>
- World Health Organization (WHO). (2018). The Top 10 Causes of Death. Consultado en marzo de 2020: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death>
- World Health Organization (WHO). (2020). Obesity and Overweight. Consultado en marzo de 2020: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>.
- Zia-UI-Haq, M., Iqbal, S., Ahmad, S., Imran, M., Niaz, A., & (2007) Nutritional and compositional study of Desi chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars grown in Punjab, Pakistan. *Food Chem* 105:1357–1363. doi:10.1016/j.foodchem.2007.05.004.