



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE QUÍMICA

**DESARROLLO, CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA Y
NUTRACÉUTICA DE UN EXPLOTADO TIPO PALOMITA
UTILIZANDO FRIJOL COMÚN (*PHASEOLUS VULGARIS* L.)
VARIEDAD REVENTÓN**

TESIS

**PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS**

PRESENTA:

I.I.A. Samantha Rodríguez Villagómez

DIRIGIDA POR:

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña

SANTIAGO DE QUERÉTARO, QUERÉTARO, 2022.



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Química
MAESTRIA EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE LOS ALIMENTOS

Con tema de Tesis: “Desarrollo, Caracterización Físicoquímica y Nutracéutica de una palomita utilizando frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad reventón”

TESIS

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de
Maestra en Ciencia y tecnología de Alimentos

Presenta

I.I.A. Samantha Rodríguez Villagómez

Dirigido por:
Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña

Presidente

Firma

Dra. Marcela Gaytán Martínez

Secretario

Firma

Dra. María de la Luz Reyes Vega

Vocal

Firma

Dra. Sandra Olimpia Mendoza Díaz

Suplente

Firma

Dra. Rocio Campos Vega

Firma

Este trabajo de investigación va dirigido a Dios, a mis padres, a mi hermano y a Carlos. Gracias por ayudarme a lograr mis metas, por enseñarme a luchar, gracias por el apoyo y amor incondicional.

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Flavia, por todo el apoyo, la orientación académica y personal, por ser esa extraordinaria mentora, una gran científica y una increíble persona. Siempre tendrá mi respeto y admiración.

A la Dra. Sandra, gracias por escucharnos en tiempos de pandemia, por enseñarnos que la vida es muy bonita, que debemos luchar día con día dando lo mejor de nosotros.

Gracias a la Dra. Marcela. Dra. Luz y Dra. Rocio, que, con su ejemplo, enseñanzas en clases y en el trabajo, me inspiran a seguir preparándome y continuar en el mundo de la ciencia

A mis maestros, gracias por compartir sus conocimientos, enfoques de vida y sabiduría, cada uno fomentó en mi preparación, algo de lo que soy y seré siempre.

Quiero agradecer a mis amigas, Yazmín, Ana, Mariana, Moni y Luci, gracias por esos momentos inolvidables en clases y por su amistad incondicional. Con mucho cariño a mi amigo Juan José por darme ánimos cuando lo necesito. Con mucho amor para ti Carlos, gracias por todo el amor incondicional que me das.

A Carmelita y el personal administrativo.

A Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el financiamiento y apoyos recibidos a mi persona.

A la Universidad Autónoma de Querétaro, por ser mi segunda alma mater.

RESUMEN

México ocupa el primer lugar a nivel mundial en prevalencia de obesidad, estado patológico que propicia el desarrollo de enfermedades crónico- degenerativas no transmisibles (ECDTs), las cuales se han clasificado como las principales causas de muerte a nivel mundial y en nuestro país. Debido a esos cambios en los estilos de vida de los consumidores, el mercado de producto que se innova constantemente es el de las botanas. Las botanas se elaboran diversificando los ingredientes para contribuir con la mejora de características nutricionales y sensoriales. El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es actualmente considerado un alimento nutraceutico gracias a su importante contenido de polifenoles, lectinas, fibra dietaria (soluble/insoluble) y almidón resistente, por lo que en este trabajo se desarrolló un explotado tipo palomita de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad reventón, como un producto innovador y de buena calidad que potencialmente se puede llegar a encontrar en cualquier supermercado. De los resultados obtenidos para el frijol crudo se destaca un importante contenido químico: proteínas 21.91%, lípidos 1.41%, humedad 9.57%, cenizas 4.66% y carbohidratos 62.45%, así como fibra dietaria insoluble 24.55% y soluble 16.55%. Las mejores características del frijol explotado se obtuvieron precociendo el frijol durante 15 minutos previamente a su introducción en un horno de aire forzado. El frijol mostró un 4.31 % de explotado, un índice de expansión de 1.43 % y una dureza de 6.26 N. Los frijoles expandidos tuvieron 20.89 % de proteínas, 1.39 % de lípidos, 8.38 de humedad, 4.49 % de cenizas y 64.91 % de carbohidratos. Su contenido de compuestos bioactivos fue de 0.61 mg de Equivalentes de ácido gálico (EAG)/g (fenoles totales), 0.07 mg equivalentes de rutina /g (flavonoides totales) y 0.27 mg eq. De (+)-catequina/100 g (taninos condensados). Los resultados muestran que este producto puede ser una buena alternativa de botana saludable.

Palabras clave: Frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), taninos condensados, variedad reventón, nutraceuticos.

ABSTRACT

Mexico ranks first in the world in the prevalence of obesity. This pathological condition fosters the development of chronic non-communicable diseases (NCDs), which have been classified as the leading causes of death worldwide. The market is constantly innovating towards the development of new food products such as healthy snacks, made of diverse ingredients to improve the nutritional and sensory characteristics. Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) is currently considered a nutraceutical food because of its outstanding content of bioactive compounds such as polyphenols, lectins, dietary fiber (soluble/insoluble), and resistant starch. The aim was to develop an expanded common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) popcorn-like product, cv. Reventón, as an innovative and good quality product that can be found at any supermarket. Raw beans contained 21.91% protein, 1.41% lipids, 9.57% moisture, 4.66% ash, and 62.45% of total carbohydrates. Insoluble and soluble dietary fiber accounted for 24.55 and 16.55%, respectively. The best characteristics were obtained by 15 min forced air-oven precooking of the beans. The beans showed a 4.31% popping, 1.43% of expansion rate, and 6.26 N hardness. The popped beans had 20.89 % protein, 1.39 % lipids, 8.38 % moisture, 4.49 % ash, and 64.91 % carbohydrates. Its nutraceutical content was 0.61 mg of gallic acid equivalents (GAE)/g for total phenols, 0.07 mg. of rutin equivalents/g for total flavonoids, and 0.27 mg eq. of (+)- catechin/100g for condensed tannins. The results showed that this product can be a good alternative to healthy snack.

Keywords: Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.), condensed tannins, Reventón variety, nutraceuticals.

ÍNDICE

I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. ANTECEDENTES.....	3
II.1 Alimentos funcionales y nutraceuticos.....	3
II.2 Impacto del consumo de leguminosas en la salud.....	3
II.3 Frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.).....	4
II.4 Composición química y nutricional del frijol común.....	7
II.4.1 Proteínas.....	9
II.4.2 Carbohidratos.....	11
II.4.3 Fibra dietaría.....	12
II.4.4 Almidón resistente.....	13
II.4.5 Lípidos.....	13
II.5 Compuestos antinutricios.....	13
II.6 Fitoesteroles.....	14
II.7 Compuestos fenólicos.....	15
II.7.1 Flavonoides.....	15
II.7.2 Antocianinas.....	16
II.8 Factores socioculturales de la dieta y consumo de botanas.....	17
II.9 Frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) variedad reventón.....	17
II.10 Palomitas a base de leguminosas y cereales.....	19
II.11 Explotado de cereales y leguminosas.....	21
II.12 Tecnologías de explotado.....	22

II.12.1 Calentamiento con microondas.....	22
II.12.2 Calor por conducción	22
II.12.3 Aire caliente.....	23
III. JUSTIFICACIÓN.....	23
IV. OBJETIVOS.....	24
IV. 1 Objetivo general.....	24
IV. 2 Objetivos específicos.	24
V. MATERIALES Y METODOS.....	25
V.1 Material biológico	25
V.2 Metodología	25
V.3 Propiedades físicas de la semilla de frijol	25
V.3.1 Tamaño de semilla.....	25
V.3.2 Peso de 1000 granos.....	25
V.3.3 Peso Hectolitrito.....	25
V.4 Composición química	26
V.4.1 Humedad	26
V.4.2 Cenizas.....	26
V.4.3 Proteína.....	27
V.4.4 Determinación de lípidos.....	28
V.5 Composición nutraceútica	28
V.5.1 Fibra dietaría insoluble	28
V.5.2 Fibra dietaría soluble	29
V.5.3 Fibra dietaría Total	29
V.5.4 Carbohidratos.....	30
V.6 Compuestos fenólicos.....	30

V.6.1 Extracto metanólico (compuestos fenólicos libres).....	30
V.6.2 Determinación de fenoles totales.	30
V.6.3 Flavonoides totales	30
V.6.4 Cuantificación de taninos.....	31
V.6.5 Capacidad antioxidante DPPH.....	31
V.6.6 Capacidad antioxidante ABTS	31
V.6.7 Almidón resistente.....	32
V.6.8 Digestibilidad de carbohidratos <i>in vitro</i>	34
V.6.9 Almidón total.....	34
V.6.10 Almidón disponible.....	34
V.6.11 Digestibilidad <i>in vitro</i> de proteínas	35
V.7 Determinación de factores antinutricios	36
V.7.1 Cuantificación de taninos condensados	36
V.8 Procedimiento para el explotado de semilla	36
V.8.1 Pretratamiento de la semilla.....	36
V.8.2 Proceso de reventado.....	36
V.9. Calidad del núcleo reventado	3736
V.9.1 Volumen de la semilla antes y después del explotado	37 36
V.9.2 Porcentaje de semillas reventadas y sin reventar	37 36
V.9.3 Índice de expansión	37
V.9.4 Dureza del explotado de la semilla de frijol reventón	37
V.10. Análisis microbiológico	37
VI. ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	38 37
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	39
VII.1 Propiedades físicas de la semilla	39

VII.1.1 Dimensiones de la semilla.....	39
VII.1.2 Peso de mil granos	40
VII.1.3 Peso hectolítrico.....	40
VII.2 Composición química.....	41
VII.2.1 Fibra dietaría	42
VII.3 Composición nutraceútica del frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L) variedad reventón	45
VII.4 Capacidad antioxidante	46
VII. 5 Digestibilidad <i>in vitro</i> de proteínas del frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) variedad reventón	47
VII.6 Condiciones para el explotado de la semilla de frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) variedad reventón.....	48
VII.7 Condiciones finales y la influencia de tiempo en los parametros de explotado del frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L) variedad reventón.	51
VII.7.1 Volumen del frijol antes y después del explotado.....	54
VII.7.2 Porcentaje de granos sin reventar	54
VII.7.3 Índice de expansión (IE)	54
VII.8 Dureza del explotado de frijol reventón.	55
VII.9 Composición química del explotado de del frijol reventón.	56
VII.10 Composición nutraceútica del explotado de del frijol reventón.	61
VII. 11 Capacidad antioxidante del explotado de frijol reventón.....	62
VII.12 Digestibilidad <i>in vitro</i> de proteínas en el explotado del frijol reventón	63
VIII Pruebas microbiológicas	64

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Clasificación taxonómica del frijol común	5
Cuadro 2. Composición química del frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	8
Cuadro 3. Contenido de aminoácidos esenciales en el frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.).....	10
Cuadro 4. Tipos de péptidos bioactivos con actividad y sus efectos funcionales en la salud	11
Cuadro 5. Composición nutricional del frijol común (<i>Phaseolus Vulgaris</i> L.)...12	
Cuadro 6. Límites máximos microbiológicos y de materia extraña en botanas	<u>3837</u>
Cuadro 7. Características físicas del frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) variedad reventón	<u>¡Error! Marcador no definido.39.</u>
Cuadro 8. Composición química del frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) variedad reventón.....	41
Cuadro 9. Contenido de fibra total, soluble e insoluble en la semilla de frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) variedad reventón	43
Cuadro 10. Contenido de almidón en la semilla de frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) variedad reventón	44
Cuadro 11. Composición nutracéutica del frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) variedad reventón	46
Cuadro 12. Capacidad antioxidante de frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)...47	
Cuadro 13. Digestibilidad in vitro de proteínas del frijol variedad reventon...47	
Cuadro 14. Preparación recomendada para soluciones saturadas de sal a 25°C.....	49

Cuadro 15. Parámetros de explotado del frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) variedad reventón.....	53
Cuadro 16. Dureza del explotado de frijol reventón.....	56
Cuadro 17. Composición química del frijol crudo reventón y explotado de del frijol reventón.....	57
Cuadro 18. Contenido de fibra total, soluble e insoluble en la semilla de frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) variedad reventón.....	59
Cuadro 19. Contenido de almidón del explotado en frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) variedad reventón.....	60
Cuadro 20. Composición nutraceútica del frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) variedad reventón y explotado de del frijol reventón.....	62
Cuadro 21. Capacidad antioxidante de frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)...63	
Cuadro 22. Digestibilidad <i>in vitro</i> de proteínas en el explotado del frijol reventón	64
Cuadro 23. Pruebas microbiológicas.....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Datos estadísticos de la producción de frijol en México).....	6
Figura 2. Producción nacional de frijol por variedad en México 2015.....	7
Figura 3. Estructura de flavonoides presentes en el grano de frijol.....	16
Figura 4. Variedad genética de frijol reventón	19
Figura 5. Palomitas de sorgo	20
Figura 6. Palomitas de frijol.....	21
Figura 7. Preliminar para la expansión de la semilla de.....	49
Figura 8. Preliminar con las soluciones para los explotados de frijol reventón ...	50
Figura 9. Frijol reventón después del proceso de cocción.....	51
Figura 10. Prueba preliminar para la expansión del frijol reventón , con tiempo de 5, 15 y 20 min.	52

I. INTRODUCCIÓN

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) de origen americano, es uno de los cultivos más importantes del mundo, ocupando el 80 % de la superficie sembrada con este género. El cultivo del frijol es considerado de los granos más antiguos. Su mayor área de producción se concentra en América Latina, donde se localiza cerca del 45 % de la producción mundial, representando la región de mayor consumo del grano (Hurtado *et al.*, 2017).

México es centro de origen y diversificación de *Phaseolus. Vulgaris* L. La actual variabilidad genética y fenotípica en la forma domesticada de las características de la planta, semilla y composición química tiene como base la conservación dada por las culturas precolombianas y campesinos actuales (Espinoza-Garcia & Martínez-Martínez, 2016). Esta leguminosa es considerada fundamental dentro de la alimentación humana debido a su alto valor nutricional. Sin embargo, su consumo se ve limitado por la elevada concentración de algunos metabolitos secundarios, que son sintetizados de forma natural en la planta y que, debido al efecto adverso que pueden llegar a presentar, se han denominado “compuestos anti nutricios”. Particularmente para el frijol común, destacan los compuestos fenólicos, taninos condensados, oligosacáridos y saponinas. Estos compuestos se sintetizan y se acumulan durante la maduración de la semilla para el proceso de germinación, o bien, como un mecanismo de defensa contra bacterias, virus, hongos y fauna nociva (Nikmaram *et al.*, 2017).

Cabe destacar que éstos compuestos se modifican por el tratamiento térmico y por digestión en organismos monogástricos, incluyendo el humano, y también se les han atribuido propiedades biológicas importantes como efectos antioxidantes, anti mutagénicos, anti carcinogénicos, hipoglucemiantes e hipocolesterolémicos, entre otros (Vázquez-Flores, 2012).

Entre las principales ventajas del consumo del frijol común destaca su elevado contenido de proteínas, fibras, vitaminas, minerales y otros nutrientes, lo que le hace una buena fuente de estos compuestos y nutrientes, además de su capacidad de ser complemento de cereales y otras fuentes de carbohidratos. Es por esta razón que el frijol se ha categorizado como uno de los cultivos obligatorios en programas enfocados a garantizar la seguridad alimentaria y la variación en su tamaño, formas y colores es una muestra de la gran diversidad genética de este cultivo (Espinoza-Garcia & Martínez-Martínez, 2016).

Usualmente, la caracterización de las poblaciones de frijol se efectúa mediante rasgos agromorfológicos (Espinoza-Garcia & Martínez-Martínez, 2016). Uno de los beneficios de esta leguminosa, es que la semilla puede secarse y almacenarse durante 120 días, por lo que puede considerarse otra gran ventaja para su integración en los programas de alimentación poblacional y seguridad alimentaria, siempre y cuando se mantengan las condiciones adecuadas, como una temperatura baja y una humedad relativa del 11 %. De no ser así, puede presentarse el endurecimiento conocido mundialmente como “hard to cook (HTC)”, el cual es un defecto de textura que afecta a las leguminosas que se llegan almacenar por largos períodos en condiciones de alta temperatura y humedad relativa (Liu K, 2015).

Algunos autores consideran que existen dos tipos de endurecimiento en los granos almacenados bajo condiciones adversas: uno a nivel de la testa al cual denominan “hard shell” y otro a nivel de los cotiledones que corresponde al “hard to cook”. El “hard shell” se ha asociado a impermeabilidad de la testa lo que genera una reducción de capacidad de la absorción de agua en el grano, y el “hard to cook”, tal como se describió, se relaciona con una reducida separación celular en los cotiledones durante su cocción (Mujica *et al.*, 2015). Para su consumo, el frijol debe pasar por diferentes procesos para rehidratar y suavizar los cotiledones, de forma que se facilite su consumo, se mejore su perfil nutricional y sus propiedades organolépticas, además de reducir, inactivar o eliminar factores no nutricionales

(Smith *et al.*, 2019). Es por todos estos beneficios que hoy en día se está buscando la innovación de productos funcionales que utilicen como ingrediente principal el frijol, a través de la implementación de nuevas tecnologías de alimentos, que brinden un beneficio al consumidor. Por lo que el objetivo del presente trabajo es desarrollar una botana a base de frijol común (*Phaseolus vulgaris L*) variedad reventón, que consiste en palomitas, evaluando sus propiedades físicas, químicas y nutraceuticas para asegurar sus características nutritivas y nutraceuticas.

II. ANTECEDENTES

II.1 Alimentos funcionales y nutraceuticos

En las últimas décadas, el uso del concepto “alimento nutraceutico” ha aumentado dentro de la industria alimentaria y de los mismos consumidores. La obtención de alimentos nutraceuticos o funcionales se pueden lograr de forma natural desde su origen, o bien, llegar a ellos por medios químicos o biológicos. Algunos de estos alimentos forman parte esencial de la dieta de algunas culturas y que son consumidas regularmente, siendo un ejemplo de ello el consumo de frijol común (*Phaseolus vulgaris L.*) en México y Centroamérica. Se ha informado que los alimentos funcionales además de su aporte nutricional aportan múltiples beneficios a la salud, sobre todo en la reducción del riesgo a padecer enfermedades crónicas degenerativas no transmisibles (ECDNTs). En alimentos, el valor nutraceutico hace referencia a todos aquellos componentes presentes a los que se les puede atribuir una función de mantenimiento y potenciación de la salud, estos componentes se denominan compuestos bioactivos. Se sabe que dichos compuestos influyen en los mecanismos fisiológicos, siendo ejemplo de ello los metabolitos secundarios sintetizados por las plantas y que constituyen uno de los grupos más abundantes e importantes (Heliodoro *et al.*, 2018).

II.2 Impacto del consumo de leguminosas en la salud.

El consumo regular de leguminosas ha demostrado efectos benéficos en la prevención y manejo de obesidad, diabetes y enfermedades cardiovasculares.

Evidencias epidemiológicas demuestran una reducción del 22 % en enfermedad coronaria y una reducción del 11 % en la enfermedad cardiovascular. Por ejemplo, el consumo de una porción de media taza (80 g) de frijol al día se asocia con una disminución de 38 % en el riesgo de padecer infarto agudo al miocardio (Aparicio-Fernández & Espinosa-Alonso, 2007).

En pleno siglo XXI, los consumidores han desarrollado una mayor conciencia en cuanto a la relación que tiene la selección y consumo de alimentos con un valor agregado y un estado de salud. En la actualidad se presta mayor atención a aquellos alimentos que contienen compuestos que ayudan a la prevención del desarrollo de ECDNTs, por lo que diversas investigaciones científicas se han centrado en búsqueda de dichos compuestos presentes en productos naturales. El grupo de trabajo ha tenido especial interés en el desarrollo de nuevos productos a base de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) que ofrezcan beneficios a la salud y promuevan el consumo de esta leguminosa, y en específico en este trabajo, en la variedad reventón (Aparicio-Fernández & Espinosa-Alonso, 2007).

II.3 Frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.)

Dentro del grupo de las leguminosas, el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) (Cuadro 1), es una de las más importantes a nivel mundial. El frijol, junto con el maíz constituyen la dieta de una gran parte de la población mexicana gracias a sus atributos nutricionales (carbohidratos, vitaminas, fibra dietética y minerales) (Chen *et al.*, 2015). Dentro del género *Phaseolus* se tienen cinco especies domesticadas: frijol común (*P. vulgaris*), frijol lima (*P. lunatus*), frijol tépari (*P. acutifolius*), frijol ayocote (*P. coccineus* ssp. *coccineus*) y frijol del año (*P. dumosus*). La domesticación ocurre en forma independiente en cada región (Hernández-López *et al.*, 2013)

Estudios ratifican el origen Mesoamericano y Sudamericano de *P. vulgaris*, por lo que el interés del hombre por esta leguminosa ha formado parte de la historia. La selección hecha por las culturas precolombianas generó la diversificación de nombres comunes, dentro de los cuales destacan: frijol, poroto, judía, nuña,

habichuela y alubia, pero no fue hasta hace no más de medio siglo que se estableció una base sólida de la taxonomía del *Phaseolus* (Hernández-López *et al.*, 2013).

Cuadro. 1. Clasificación taxonómica del frijol común

Reino	Plantae
Clase	Magnoliopsida
Origen	Fabales
Familia	Fabaceae
Género	<i>Phaseolus</i> L.
Especie	<i>vulgaris</i> L.

(Conabio, 2016).

La planta es anual, trepadora, de tallo pubescente en estado adulta, y conforma una herbácea que es cultivada principalmente desde las zonas tropicales hasta las templadas. Las floraciones se caracterizan por ser coloridas dando tonos blancos, rosados y amarillos, dependiendo de la variedad de frijol y se encuentran en la parte superior del tallo (Fernández *et al.*, 2010).

El cultivo de frijol común se encuentra extendido en los cinco continentes y aunque no está considerado dentro de los cuatro cultivos prioritarios, es uno de los alimentos básicos de los pobladores de regiones de África, América Latina y el Caribe (González *et al.*, 2015). En el 2017, la producción mundial de frijol registró 36.5 millones de hectáreas y se produjo un máximo histórico de 31.4 millones de toneladas (FAO, 2017). Se estima que aproximadamente 70 % del cultivo de frijol en el mundo se desarrolló en condiciones de temporal, por lo cual la productividad es altamente vulnerable a las condiciones ambientales. El rendimiento promedio mundial en este cultivo se ubicó en 861 kg/Ha y entre las principales regiones productoras antes mencionadas, los rendimientos más altos se obtuvieron en Estados Unidos, con 1997 kg/Ha, y los más bajos es la India, con 414 kg/Ha; mientras que México se ubicaron en un promedio de 730 kg/Ha (FIRA, 2017).

De acuerdo con el servicio de información agroalimentaria (SIAP, 2016), los estados donde destaca el cultivo de frijol son: Zacatecas (29.9 %), Durango (11.5 %), Sinaloa (8.7 %), Chihuahua (9.9 %), Chiapas (6.2 %), San Luis Potosí (4.6 %) y Guanajuato (5.7 %). Cabe hacer énfasis que tan solo la cosecha de estos estados representa más del 76.6 % del frijol que se consume dentro del país (Figura 1).

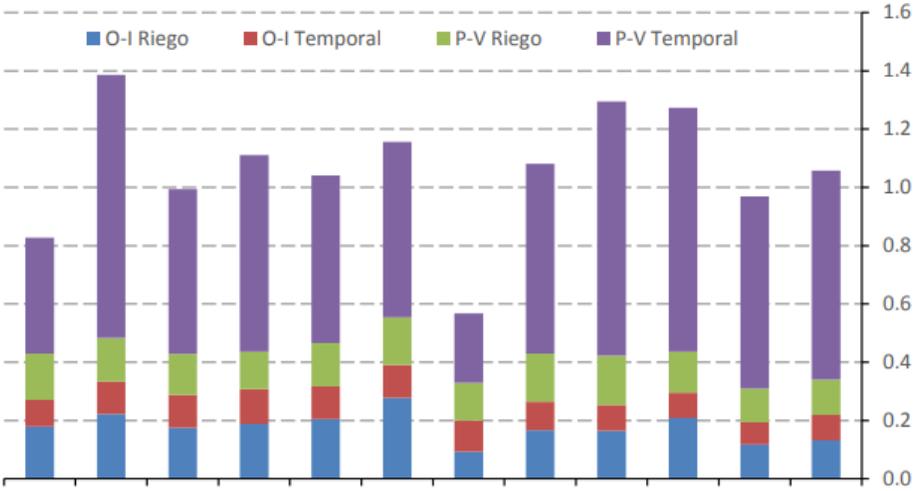


Figura 1. Datos estadísticos de la producción de frijol en México (SIAP, 2016).

México es considerado como uno de los centros de origen del frijol, siendo uno de los principales países productores. En el país existen de 55 hasta 70 variedades nativas de frijol, las cuales se distribuye en grupos como: frijol negro (37.3 %), frijol pinto (26.5 %), flor de mayo (9.4 %), peruano (9.2 %), flor de junio (7.9 %), bayo (3.1 %), entre otros (SIAP, 2016). En la Figura 2 se muestra la producción de frijol durante el 2015-2016 de las principales variedades que se cosechan en México (SIAP, 2016).

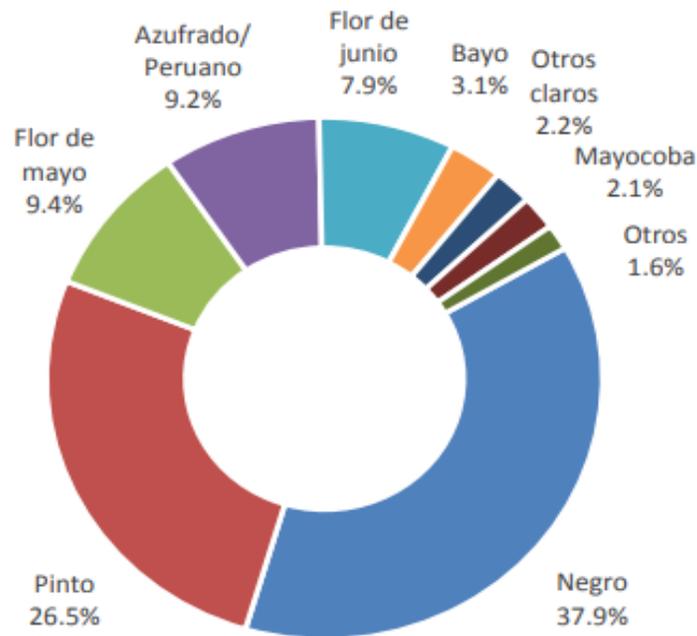


Figura 2. Producción nacional de frijol por variedad en México 2015.

(SIAP, 2016).

II.4 Composición química y nutricional del frijol común

El frijol es considerado uno de los alimentos básicos dentro de la dieta del mexicano. Entre sus propiedades nutritivas destaca el elevado contenido proteico, de carbohidratos, y en menor medida de vitaminas y minerales, como se muestra en el Cuadro 2 (Enjamio- Perales *et al.*, 2017). El frijol común es actualmente considerado un alimento funcional gracias a su importante contenido de compuestos bioactivos como los polifenoles, lectinas, inhibidores de tripsina, oligosacáridos, fibra dietaría (soluble/insoluble) y almidón resistente (Luna- Vital *et al.*, 2015).

Cuadro 2. Composición química del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.)

Componente químico	Componente
Proteína (%)	16-33
Carbohidratos (%)	50-60
Fibra dietaria (%)	14-19
Almidón (%)	35-60
Fibra soluble (%)	3.3-7.6
Fibra insoluble (%)	0.1-13.1
Lisina	8.7 g/100 g
tirosina	5.3 – 8.2 g/100 g
Cisteína y Metionina	2.24-2.53 g/100 g
Calcio (mg)	100.1
Magnesio (mg)	113.7
Manganeso (mg)	1.18
Zinc (mg)	4.7
Potasio (mg)	846.4
Hierro (mg)	4.87

Todos los valores se dan por cada 100 g en base seca de la semilla.

Valores de los minerales superiores a 0.1 mg (**Espinoza-García et al., 2016**).

II.4.1 Proteínas

Las leguminosas son la principal fuente de energía vegetal del ser humano. El contenido proteico que aportan ronda el 18.4-36 % dependiendo de la variedad y especie. El frijol común es la principal fuente de proteínas en algunas comunidades, aunque es deficiente en aminoácidos azufrados como metionina y cisteína, deficiencia que puede complementarse con el consumo de algún cereal. Análogamente, la deficiencia que tienen los cereales en lisina y triptófano puede ser suplida por la presencia de estos aminoácidos en el frijol común, alcanzándose los niveles de proteína y aminoácidos requeridos (Enjamio-Perales *et al.*, 2017). En general, las proteínas de los granos se clasifican con base en su: metabolismo de carbohidratos, respuesta al estrés, almacenamiento, defensa, crecimiento y desarrollo. Dentro de las proteínas que contiene el grano son las albúminas (14.8 – 20.8 %), las globulinas (33 - 45 %) y glutelinas (12.8 – 41.2 %). Dentro de las proteínas más relevantes de esta leguminosa se encuentra la faseolina con 48.1 % y lectinas 40 %, que son compuestos inhibidores de α -amilasa (Luna- Vital *et al.*, 2015).

Los aminoácidos presentes en esta leguminosa Cuadro 3. Los valores son ligeramente variables al tipo de especie, mientras que la arginina es el aminoácido que presenta variaciones significativas (Veliz, 2018).

Cuadro 3. Contenido de aminoácidos esenciales en el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.).

Aminoácidos	<i>Phaseolus vulgaris</i> (mg /100 g)
Triptófano	1.33
Leucina	1.08
Lisina	1.31
Glutamina	1.39
Glicina	5.49
Valina	1.79

(Veliz, 2018).

La digestibilidad de las proteínas de frijoles es de alrededor del 79 %, por lo que la recomendación es complementar el consumo del frijol con una dieta combinada con cereales tales como el maíz o el arroz, de esta forma se logra tener todos los aminoácidos esenciales (Suárez- Martínez, 2016).

La proteína del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L), se ha clasificado en dos grupos: las globulinas solubles en soluciones salinas (45-70 %), y las albúminas solubles en agua (10-30 %), destacando que, dentro de las albúminas, como ya se había mencionado la faseolina representa el 48.1 % de la proteína total del frijol común, siendo la proteína de almacenamiento más importante del frijol (Yao *et al.*, 2015).

Los péptidos bioactivos son fragmentos resultantes de un tratamiento bioquímico en las proteínas intactas, estando inactivas dentro de ellas y que al liberarse se activan para actuar en beneficio de la salud del organismo que los consume (Cuadro 4) (Campos- Segura *et al.*, 2013). Las proteasas como la pepsina, papaína, tripsina y termolisina son los péptidos bioactivos que se producen de las proteínas del frijol, el cual dependerá de la relación enzima/sustrato, combinación de enzimas y procesamiento para su elaboración.

Cuadro 4. Tipos de péptidos bioactivos con actividad y sus efectos funcionales en la salud.

Péptidos Bioactivos	Efecto sobre la salud
Inmunomoduladores, antimicrobiana y antiviral	Inhiben las respuestas inflamatorias, previenen el riesgo de infecciones, inhiben la replicación de virus
Actividad anticancerosa	Inhibe tanto el crecimiento de tumores como la formación de metástasis
Actividad sobre el sistema cardiovascular	Inhiben la actividad de la enzima convertidora de angiotensina (ECA), de esta forma reduce la presión arterial.
Actividad sobre el sistema digestivo	Mejorar la función digestiva e induce el crecimiento de la microbiota no patógena.
Actividad anticoagulante	Reduce los riesgos de padecer coágulos de sangre en las venas

(Godoy et al., 2015).

II.4.2 Carbohidratos

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), tiene una gran importancia debido a su aportación de carbohidratos, siendo este el componente principal ya que representa del 52 -76 %, donde se encuentran como componentes primarios los polisacáridos y el almidón (fibra dietética), así mismo los oligosacáridos con un 2-6 % en menor cantidad, pero significativa (Ulloa et al., 2011).

Investigaciones que se han realizado, se ha informado que el frijol común es rico en fibra dietética, la cual está compuesta por fibra soluble e insoluble. Dentro de los principales componentes químicos presentes en el frijol son: celulosa, hemicelulosa y lignina, que resisten la digestión y la absorción en el intestino delgado, pero se fermentan parcialmente en el intestino grueso (Ulloa et al., 2011). Los almidones de

esta leguminosa tienen una digestión lenta y se fermentan en el intestino grueso para producir ácidos grasos de cadena corta (AGCC), con beneficios a la salud, como el aporte de energía a las células del colon. Se ha reportado que los valores de amilosa presentes en el almidón del frijol se encuentran en un rango del 30 al 40 %. Estas propiedades funcionales y nutricionales son de gran importancia para la investigación y la industria alimentaria (Miranda-Villa *et al.*, 2013).

II.4.3 Fibra dietaría

La fibra dietética es una mezcla de numerosos polisacáridos (como celulosa, hemicelulosa, pectinas), oligosacáridos, lignina y compuestos fenólicos. La celulosa es el mayor componente de la fibra cruda en frijoles (pinto, rosado y *navy*), mientras que el contenido de fibra dietaría total depende de la variedad de frijol que se considere (Cruz-Requena *et al.*, 2017). La fibra se clasifica por su solubilidad en soluble e insoluble de acuerdo con su tipo de polisacáridos, así como una característica fundamental por la acción de enzimas digestivas humanas. El consumo de fibra dietaría ha demostrado tener beneficios para la salud, como la disminución de colesterol y triglicéridos (Cruz-Requena *et al.*, 2017). De acuerdo con la Asociación Americana de Dietética, se ha reportado la ingesta de fibra por día de 30 g/100 g. Por otro lado, el frijol constituye del 14 % - 19 % (Cuadro 5). Ríos- Espinosa *et al.* (2012), realizaron un estudio con frijol Bayo Madero, cuya variedad tiene mayor cantidad de fibra soluble (5.55 %) e insoluble y también mayor cantidad de polisacáridos en comparación al frijol común *Phaseolus vulgaris* L.

Cuadro 5. Composición nutrimental del frijol común (*Phaseolus Vulgaris* L.)

Componente (%)	Contenido
Fibra dietaría	14- 19
Fibra soluble	3.3- 7.6
Fibra insoluble	0.1- 13.1

(Cruz-Requena *et al.*, 2017).

II.4.4 Almidón resistente

El almidón representa la fracción principal que confiere energía en alimentos vegetales. Cabe mencionar que, durante su cocinado, una parte queda disponible, ya que se transforma en almidón resistente (Suarez-Martínez *et al.*, 2016). Las leguminosas contienen mayor cantidad de almidón resistente con un 13% en comparación con los cereales. El frijol común contiene grandes cantidades de almidón resistente, teniendo una relación amilosa/amilopectina, donde hay una rápida digestión de 30 a 40 % de amilosa (Suarez-Martínez *et al.*, 2016)

El almidón en frijol común es alto en almidón de lenta y rápida digestión con alrededor de 30 a 40 % de amilosa, este tipo de almidón se asocia con la reducción del índice glucémico y por lo tanto con la disminución de glucosa en comparación con el almidón de rápida digestión. Se ha reportado valores de almidón resistente de los frijoles sin cocción de 61.55-74.98 % (Suarez-Martínez *et al.*, 2016).

II.4.5 Lípidos

El porcentaje de los lípidos en el grano de frijol depende del tipo de variedad, el porcentaje va desde 1.5 a 6.2 %, se han reportado valores más bajos que van de 0.4 a 2 % en frijol crudo como cocido, estas diferencias pueden atribuirse al tipo de frijol, el sitio de siembra y clima. El frijol contiene una importante cantidad de ácidos grasos insaturados como el oleico (7-10 %), linoleico (21-28 %), y linolénico (37-54 %). Los fosfolípidos y triacilglicéridos son los componentes lipídicos mayoritarios, y los diacilgliceroles e hidrocarburos se presentan en menor cantidad. Según el perfil de ácidos grasos de diferentes leguminosas, incluidas el frijol común tienen características funcionales para la salud humana (Lo Turco *et al.*, 2016).

II.5 Compuestos antinutricios

Los compuestos antinutricios se encuentran comúnmente en los granos y semillas comestibles, cuando estos son ingeridos automáticamente disminuyen la digestión de tres componentes en el cuerpo humano como son las proteínas, vitaminas y minerales (Elizalde *et al.*, 2010). El frijol crudo contiene varios componentes antinutricionales y estos pueden afectar la salud del consumidor por lo que tienen

que procesarse correctamente y el proceso más común es el tratamiento térmico. Existen algunos efectos adversos como la inhibición del crecimiento, colitis, flatulencias y mala digestibilidad (Ulloa *et al.*, 2011).

Entre las sustancias antinutricionales del frijol se encuentran inhibidores de enzimas que pueden reducir la digestibilidad de las proteínas, lectinas que pueden inhibir la absorción de nutrientes, oligosacáridos no digeribles y algunos compuestos fenólicos (Nikmaram *et al.*, 2017). Cabe destacar que estos compuestos son termolábiles, por lo tanto, para inactivar sus efectos adversos es necesario un tratamiento térmico de 85 a 91 °C por 15 a 20 min (Celada, 2017).

Las leguminosas tienen otros componentes menores tales como el ácido fítico en rangos del 0.4 % a 6.4 % del peso seco total, y a éstos se les ha atribuido la capacidad de quelar minerales. Al igual que otros antinutricios, el ácido fítico tiene propiedades biológicas como la inducción de diferenciación y maduración de las células malignas y es capaz de regular el ciclo celular. Mientras que las saponinas son un grupo de glúcidos que también promueven beneficios a la salud, donde suprimen el potencial metastásico de los tumores mediante la regulación de las enzimas, las saponinas forman un complejo insoluble con el colesterol para inhibir su absorción intestinal, las saponinas disminuyen indirectamente el colesterol al aumentar la excreción de los ácidos biliares (Aparicio-Fernández & Espinosa-Alonso, 2007).

II.6 Fitoesteroles

Los fitoesteroles (esteroles vegetales), son compuestos presentes en las plantas con propiedades hipocolesterolémicas, que pueden contribuir a prevenir enfermedades cardiovasculares, y al igual que las saponinas ayudan a reducir los niveles de colesterol. Los fitoesteroles intervienen eficazmente en la absorción del colesterol del intestino delgado, las semillas de oleaginosas son las mayores fuentes naturales de estos, la ingesta diaria estimada de fitoesteroles varía entre 160 y 500 mg/día, sin embargo, su acción beneficiosa se logra con consumos de 1500 mg (Silva *et al.*, 2016).

II.7 Compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos o polifenoles constituyen uno de los más numerosos grupos de sustancias en vegetales, estos son productos del metabolismo secundario de las plantas. Los compuestos fenólicos encontrados en el frijol común (*Phaseolus Vulgaris* L.), han sido reportados como antioxidantes, por otro lado, se han encontrado diferentes compuestos fenólicos en extracto de metanol como: catequina, ácido fítico, triptófano, ácido *p*-camarico y en menor proporción el ácido gálico y procianidina. Asimismo, se ha reportado la presencia en la fracción no digerible de taninos no condensados, los cuales pueden fermentarse en el colon y producir ácidos grasos de cadena corta (Denih, 2016).

Los compuestos fenólicos principales en estos granos son los taninos, sintetizados por la biosíntesis de los flavonoides con características químicas, sin embargo, se ha informado que éstos tienen propiedades biológicas importantes como la capacidad antioxidante, antiinflamatoria, antimicrobiana, antimutagénica e incluso anticarcinogénica (Bakoyiannis *et al.*, 2019). Existen dos tipos de taninos: los hidrolizables y los condensados, cuya diferencia se refiere a los efectos nutricionales; sin embargo, los taninos hidrolizables tienen características de no resistir a la hidrólisis durante el proceso de digestión, por lo que estos llegan al intestino delgado y son absorbidos fácilmente, mientras que los condensados pueden resistir a la hidrólisis ácida del estómago por lo que los hace no absorbibles (Nikmaram *et al.*, 2017).

II.7.1 Flavonoides

Los flavonoides son un grupo importante, son los más comúnmente encontrados en los alimentos y con más propiedades biológicas (Bakoyiannis *et al.*, 2019). En el frijol se ha descrito la presencia de flavonoides en semillas de color amarillo, café y negro. Los taninos están ampliamente distribuidos en el frijol, además los principales flavonoides presentes en la testa son: kaempferol y quercetina (Figura 3) (Herrera, 2016).

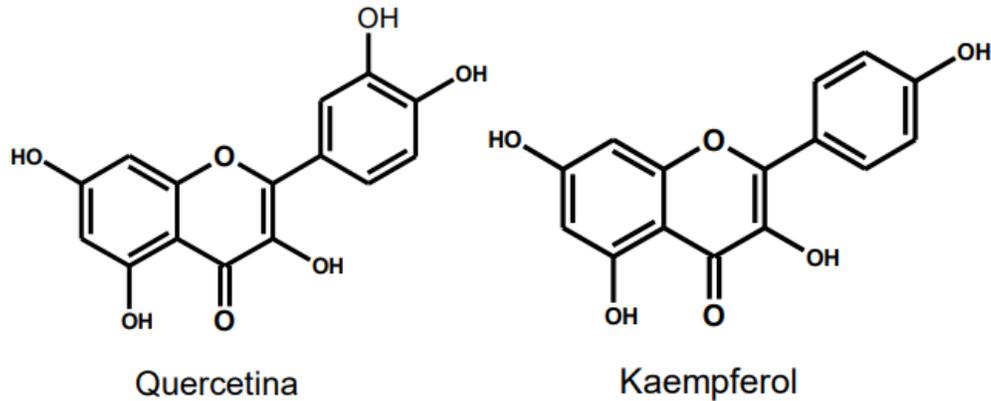


Figura 3. Estructura de flavonoides presentes en el grano de frijol (Herrera, 2016)

II.7.2 Antocianinas

Las antocianinas son pigmentos naturales que están ampliamente distribuidos en las plantas que se consumen en la dieta humana, incluyendo a las frutas y hortalizas. En promedio, la ingesta de antocianinas por el humano se ha estimado en 180 a 215 mg/día, que es una mayor cantidad en comparación con otros flavonoides (Denih, 2016). Entre las antocianinas de frijol común se han logrado identificar grupos principales de monoglucósidos de 18 antocianinas como lo son las delphinidina, peonidina, malvidina y petunidina. Cuando las antocianinas carecen del grupo glucósido, se conocen como antocianidinas y su color depende de diferentes factores: número de grupos hidroxilo, la presencia de ácidos aromáticos esterificados en el anillo principal y el pH de las vacuolas celulares en las que se almacenan estos pigmentos. Gracias a sus características, para la industria alimentaria son una alternativa atractiva para el remplazo de colorantes sintéticos debido a su alta solubilidad en agua. La presencia de antocianinas en frijol sólo ha sido descrita para frijol rojo, sin embargo, con el desarrollo de técnicas y equipos más eficientes se ha logrado identificar en frijol negro (Heredia, 2017).

II.8 Factores socioculturales de la dieta y consumo de botanas

En la actualidad existen tendencias de botanas que se han ido incrementando poco a poco debido al crecimiento de algunos padecimientos como el sobrepeso, por lo que la innovación en la preparación de alimentos juega un papel muy importante, ya que se busca la inocuidad y el valor nutrimental con la meta de ayudar en la prevención del desarrollo de ECDNT y la mala nutrición de los consumidores. Es por ello por lo que en la actualidad se están creando botanas con bajo contenido en grasa y se están posicionando más dentro del mercado (Vaheer *et al.*, 2010).

Las botanas en México al igual que en otros países del mundo son productos que requieren satisfacer las necesidades de los consumidores, en cuanto a: accesibilidad, precio, buen sabor y porciones. La norma mexicana (NOM-216-SSA1-2002) define a una botana como una gran variedad de botanas diferentes tales como: los cacahuates, garbanzos, habas, totopos, palomitas y algunas frutas y vegetales, que nos sirven para acompañar y compartir momentos de distracción y diversión (Rodríguez, 2017).

La industria alimentaria toma en cuenta las expectativas de los consumidores, en cuanto a alimentos y/o botanas. Dentro de la industria alimentaria existen conveniencias como el tipo de presentación que se le dará al producto, el contenido calórico que aporta, así como mayor vida de anaquel y su distribución, estas variables nos ha llevado a la necesidad de adoptar nuevas técnicas de procesamiento de alimentos, con el fin de obtener un producto que contenga todas las características de calidad nutritiva y de esta forma, una aceptación (Rodríguez, 2017).

II.9 Frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad reventón

El frijol tipo reventón o ñuñus recibe este nombre debido a la capacidad de expansión de sus cotiledones, que aumentan un 30 % a 50 % de volumen al aplicarle calor, lo cual le caracteriza como un recurso genético innovador. Esta variedad de frijol es originaria de la zona andina de América del Sur y su mayor centro de diversificación es en las zonas altas de Perú y Bolivia. Se ha documentado

que, por miles de años, fue un alimento básico de los pobladores indígenas del sur, mientras que para el mundo moderno son casi desconocidas (Otálora *et al*, 2009).

La planta de frijol reventón tiene un hábito de crecimiento trepador, las semillas tienen un tamaño entre 8 y 12 cm de largo, son esféricas (ocasionalmente ovaladas), con un diámetro que varía entre 0.5 y 0.9 cm, presentando un color que va desde el blanco, amarillo, rojo, marrón y/o combinación de estos, tiene un periodo de ciclo de vida entre 8 a 10 meses. Dentro de su composición química, el contenido de proteínas de esta leguminosa es 20 %, carbohidratos 62 %, siendo el almidón el 60 % de los carbohidratos. También es una buena fuente de calcio, hierro, zinc y tiamina, y tiene un valor bajo en vitamina A (Melo & Ligarreto, 2010). El frijol reventón tiene una gran variedad genética (Figura 4), así como unos rangos de adaptación muy específicos debido a las altas interacciones de las variedades con el medio ambiente. Dentro de esta variabilidad, se encuentran genotipos con buenos rendimientos y buena calidad de reventado, los cuales se consideran con características complejas. Este frijol se consume de varias formas: frito, guisado o como palomitas de frijol. El potencial de este tipo de frijol aún es poco explorado pues no se le ha dado la importancia como un producto innovador dentro de la economía tradicional. En México, la posibilidad de establecer y desarrollar producciones de frijol reventón en zonas diferentes de las tradicionales se convierte en una interesante posibilidad, aunque aún se requiere de investigación y extensión de otros lugares americanos (Melo & Ligarreto, 2010).

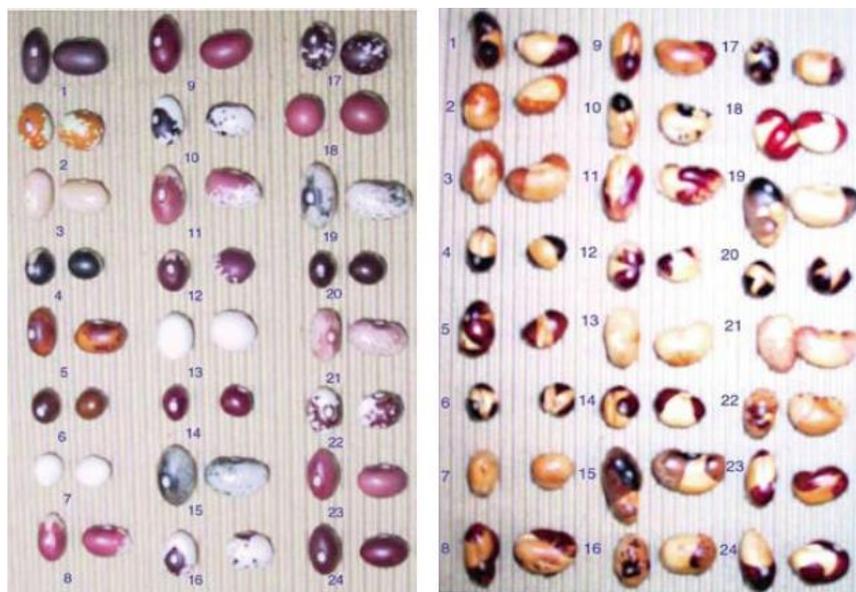


Figura 4. Variedad genética de frijol reventón (Cruz *et al.*, 2009).

II.10 Palomitas a base de leguminosas y cereales

Existen variedades de palomitas, aunque en mayor parte de estas son las palomitas de maíz, e investigaciones de otras fuentes como las leguminosas son aún escasas. Es por ello por lo que resulta interesante diseñar botanas nutritivas utilizando esta materia prima, considerando que en la actualidad no existen en el mercado (Rodríguez, 2017). Se ha informado que en México se consumen 80.000 toneladas de maíz palomero al año, de las cuales solamente el 1 % se produce en el país. Sin embargo, éste es un mercado en el que Estados Unidos de Norteamérica superó comercialmente a México. Aproximadamente el 70 % es consumido en casa y cerca del 30 % fuera de casa (teatros, estadios, escuelas, entre otros establecimientos). Por lo que resulta atractivo encontrar una alternativa de competencia y dados los atributos del frijol reventón este pudiese ser un producto interesante de introducir a nuestro país (Fregoso, 2020).



Figura 5. Palomitas de sorgo (Cruz-Vázquez *et al.*, 2016).

Dentro de la innovación de botanas existen las palomitas a base de sorgo (Figura 5), cereal que tiene gran importancia económica, con una producción de 2,595,446 T al año, en México (SIAP, 2016). De acuerdo con procedimientos establecidos por el AOAC, de los granos de sorgo reventados, recomiendan realizar pruebas químicas para corroborar el posible reventado de las semillas, cuantificando los taninos presentes en el sorgo ya que afecta la interferencia de los almidones sobre su determinación. El sorgo tiene más proteína y menos grasa que el maíz, pero la composición de sus aminoácidos es muy similar, es por ello por lo que se optó por aprovechar este cereal para la innovación de nuevos productos con un aporte muy nutritivo para el consumidor (Cruz-Vázquez *et al.*, 2016).

La palomita de frijol (Figura 6), ha sido muy poco explorada, si bien dentro de sus características físicas, no son similares a las palomitas de maíz o las de sorgo. Sin embargo, el frijol tipo reventón tiene características nutricionales diferentes, ya que aporta un bajo contenido de grasa 3.24% y un alto contenido en proteínas y carbohidratos 57.82%. Para que se pueda tener una palomita de frijol se tiene que

evaluar la consistencia que tiene el cotiledón (grado de separación) de la semilla al tostarse y esto puede deberse al tipo de gránulos de almidón, también se tiene que evaluar el contenido de humedad, de no ser así no se podría tener un buen reventado de esta palomita (Marmolejo *et al.*, 2018). Es por ello por lo que se desea implementar este nuevo alimento y ofrecer una alternativa nutritiva al consumidor. En este sentido, nuestro grupo de trabajo desarrollará una palomita a base de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad reventón, la cual se tiene como una perspectiva que tenga una función alternativa a las palomitas de maíz.



Figura 6. Palomitas de frijol (Marmolejo *et al.*, 2018).

II.11 Explotado de cereales y leguminosas

La industria alimentaria tiene en el desarrollo de nuevos aperitivos tipo botana y es uno de los sectores emergentes en el ámbito de la innovación y el desarrollo. Los granos de leguminosa y cereales en los que se ha centrado la investigación proceden de cultivares muy antiguos entre los que se destaca el maíz, frijol, amaranto, sorgo y mijo, que ahora han irrumpido en el mercado como integrantes de una dieta saludable (Gonzalez *et al.*, 2018).

Según las tendencias actuales, el *popping* (reventado), es una de las técnicas de procesamiento más simples y económicas que producen un producto poroso de sabor atractivo con una textura agradable y de baja densidad aparente. Un tratamiento de alta temperatura por poco tiempo gelatiniza el almidón, esteriliza el

producto, desarrolla un aroma agradable y se obtiene un producto listo para comer a un costo muy bajo. También aumenta la digestibilidad de las proteínas y almidón (Mirza *et al.*, 2015). La calidad de reventado, de acuerdo con su valor nutritivo varía significativamente con diferentes cereales y leguminosas, se ha demostrado que el reventado se relaciona con características físicas.

El estallido es una de las técnicas de procesamiento que no solo mejora la vida útil, sino que también mejora la calidad nutricional de los granos y agrega sabor, por lo tanto, la aceptabilidad también mejora (Gayatri Mishra *et al.*, 2014).

II.12 Tecnologías de explotado

El explotado de granos de cereales es una forma para la elaboración de botanas (palomitas).

II.12.1 Calentamiento con microondas

La tecnología de microondas es de las más importantes dentro de la industria alimentaria y de uso doméstico, ya que reduce el tiempo de calentamiento en los alimentos y puede ser utilizada sola o en combinación con otras tecnologías, por lo que aporta una gran versatilidad a la hora de diseñar procesos alimentarios debido a su elevada velocidad de procesamiento. Con ello, se puede producir un fenómeno de expansión- texturización del producto, que puede llevar a obtener texturas interesantes o incluso obtener productos expandidos bajos en grasa al no utilizar aceites. Algunos ejemplos de su aplicación son el secado, pasteurización, esterilización y freído. Los beneficios de la tecnología incluyen la mejora en la calidad de los alimentos, alarga la vida de anaquel sin el uso de conservadores, mantiene la apariencia de los alimentos, el mantenimiento es de bajo costo y es amigable con el medio ambiente (Menéndez-Díaz & Hernández-Moreno, 2017).

II.12.2 Calor por conducción

La transferencia de calor es uno de los fenómenos más importantes en el procesamiento de alimentos. El método tradicional implica colocar los granos en un sartén u olla con aceite, la cantidad de grasa de las palomitas varía apenas 4 g/100 g si se cocinan sin aceite, hasta 8 veces más (30.2 g/100 g), si se añade mucha cantidad de grasa (aceite), el aceite actúa como un medio conductor de calor y el

calentamiento es por contacto directo de los granos con la superficie caliente (Gómez , 2013).

II.12.3 Aire caliente

En este proceso el transmisor del calor es el aire a altas temperaturas entre 180 °C a 200 °C, con esta tecnología los alimentos como es el caso de las palomitas llegan a presentar buen sabor al término del proceso donde se desarrolla una corteza crocante, debido a la deshidratación superficial. El movimiento continuo aunado al calentamiento provoca que el grano salga expulsado del área de calentamiento de manera rápida dándole un mejor sabor, evitando así la incorporación de grasa durante su elaboración (Gómez , 2013).

III. JUSTIFICACIÓN

Actualmente, México ocupa el primer lugar a nivel mundial en casos de obesidad infantil, aun por arriba de Estados Unidos, quien sigue siendo el primero en términos de obesidad en la población en general.

En la lucha por combatir la obesidad en México, como llega a ocurrir casi en todos los países del mundo, se ha señalado al segmento de las botanas. Por ello, la tendencia mundial es la producción y consumo de productos bajos en grasa, tendencia que ha llegado a México. Sin embargo, no ha tenido gran impacto, las botanas en esencia son un alimento natural, que son elaboradas con ingredientes que son fundamentales en la alimentación humana: papa, maíz, frijol, trigo, sorgo, arroz, entre otras.

La investigación propuesta busca generar una palomita de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad reventón, como alternativa saludable en el sector de botanas. El trabajo considera que uno de los retos a enfrentar para mejorar la alimentación de la población es el desarrollo de nuevos productos en el área de botanas, que tengan las características de ser bajas en grasa, más nutritivas, bajo contenido

calórico y que también tengan alguna propiedad nutracéutica, además de ser un producto agradable al paladar mexicano.

IV. OBJETIVOS

IV. 1 Objetivo general.

Desarrollar una palomita a partir de una variedad de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) tipo reventón, y evaluar sus propiedades fisicoquímicas, nutracéuticas y sensoriales

IV. 2 Objetivos específicos.

1. Determinar las características físicas del grano del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad reventón.
2. Caracterizar las propiedades químicas, y nutracéuticas del grano de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad reventón.
3. Establecer las condiciones y evaluar el explotado para el grano de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad reventón, que permitan el mayor índice de expansión y correlacionar con las propiedades químicas del grano.
4. Determinar las propiedades fisicoquímicas, estructurales y nutracéuticas de las palomitas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad reventón.

V. MATERIALES Y METODOS

V.1 Material biológico

Se usaron semillas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad reventón donadas por el Instituto Nacional de Investigación Forestal, Agrícola y Pecuaria (INIFAP), campo experimental Bajío.

V.2 Metodología

Se elaboraron palomitas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad reventón. Se evaluaron parámetros físicos, fisicoquímicos, microbiológicos y nutraceuticos.

V.3 Propiedades físicas de la semilla de frijol

V.3.1 Tamaño de semilla

Se determinó el tamaño de la semilla: largo, ancho y espesor del centro de la semilla. Se midieron 10 semillas tomadas completamente al azar. Se utilizó un calibrador o vernier Digimatic, marca Mitutoyo Corp., con un rango de medida de 0.01-150 mm. Se reportó el valor promedio de los datos obtenidos.

V.3.2 Peso de 1000 granos

Se tomaron 1000 semillas completamente al azar y se pesaron en una balanza analítica (Basic), con una capacidad de 0-210 g, y una precisión de ± 0.0001 g. Se hicieron tres repeticiones de cada medición y se obtuvo la media \pm la desviación estándar de los datos.

V.3.3 Peso Hectolitro

Se siguió la metodología descrita por la NMX-FF-037-1994. Se colocó un recipiente cilíndrico de 50 mL en una balanza y se taró, posteriormente se dejó caer la semilla de frijol sin impurezas de manera constante en el centro del recipiente a una altura de 5 cm hasta que el frijol se derramara del recipiente, posteriormente se retiró el exceso con una regla circular, evitando golpear el recipiente y se volvió a registrar

el peso. Este proceso se realizó por triplicado. Se calculó el peso hectolítrico en kg/hL.

V.4 Composición química

V.4.1 Humedad

De acuerdo con el método 44-19 de la AACC (1983), se tomaron 4 g de frijol (semilla entera) y se colocaron en crisoles de porcelana a peso constante. Posteriormente, se pasaron a una estufa de deshidratación marca FELISA modelo FE-293 a una temperatura de 120 °C, por 18 h. Después, los crisoles se pasaron aun desecador hasta alcanzar la temperatura ambiente. La humedad se obtuvo por la diferencia de peso antes y después de deshidratado el grano. La determinación se realizó por triplicado.

$$\% \text{ de Humedad} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$$

Pi= Peso inicial.

Pf= Peso final.

V.4.2 Cenizas

Se utilizó el método AOAC con 2 g de muestra deshidratada (crudo), los cuales se colocaron en crisoles de porcelana previamente puestos a peso constante. Se incineró la muestra con ayuda de un mechero para eliminar la mayor cantidad de humo posible. Se calcinó en una mufla marca Fisher Scientific, Isotemp Muffle Furnace (Modelo 550-126) a temperatura de 550±600 °C hasta obtener cenizas de color blanco o gris claro. Por diferencia de pesos se calculó el porcentaje de cenizas con la siguiente formula:

$$\% \text{ de cenizas} = ((B-A) / M) \times 100$$

Donde:

A= Peso del crisol vacío.

B= Peso del crisol con cenizas.

M=Peso de la muestra.

V.4.3 Proteína

Esta determinación se llevó a cabo mediante el sistema Kjeldhal, en donde se colocó 1 g de muestra en un matraz de digestión Kjeldhal, se agregó una tableta de catalizadores (sulfato de sodio y sulfato de cobre), se adicionaron 10 mL de ácido sulfúrico concentrado y se colocaron los matraces en la parrilla de digestión a 450°C hasta el cambio de coloración verde turquesa, se enfriaron y se adicionaron 100 mL de agua destilada continuando con la digestión, adicionalmente se colocaron en un matraz Erlenmeyer de 250 mL conteniendo 25 mL de ácido bórico, y rojo de metilo que tiene la función de recoger el destilado, una vez llevada la digestión se tituló con ácido clorhídrico 0.1N. Se determinó el nitrógeno total multiplicado por el factor de conversión equivalente al porcentaje de proteína de frijol de 5.85. La cantidad de proteína se expresa en porcentaje.

$$\%N = \frac{(V1 - V2) \times M \times 14.01}{W \times 10}$$

% Proteína: % Nitrógeno x 5.85

Donde:

V1: Volumen de HCl gastados para las muestras.

V2: Volumen de HCl gastados para el blanco.

M: Molaridad de HCl.

W: Peso de muestra.

V.4.4 Determinación de lípidos

Los lípidos totales se determinaron mediante el método 920.39 (extracto etéreo) descrito por la AOAC (2002). En un cartucho de celulosa se colocó 1 g de muestra, se colocó un tapón de algodón en un compartimiento de extracción de Soxhlet el cual se colocó junto con un matraz receptor (a peso constante), contuvo 2/3 partes de su volumen de éter de petróleo como refrigerante. Se ajustó el calentamiento a 10 reflujos / hora hasta un tiempo total de 5 horas. Posteriormente, se recuperó el solvente, el matraz se colocó en una estufa a 60°C con la finalidad de retirar la humedad y los residuos de solvente. La determinación se realizó por triplicado, los resultados se expresaron en porcentaje de base seca/ g de muestra, los resultados se determinarán mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Lípidos} = \frac{\text{Peso final del matraz} - \text{peso inicial del matraz}}{\text{peso de la muestra}} \times 100$$

V.5 Composición nutracéutica

V.5.1 Fibra dietaria insoluble

La determinación de fibra insoluble se realizó por el método descrito por (Shiga *et al.*, 2003). Se pulverizó y se desgrasó la muestra, posteriormente se adicionaron 50 mL de buffer de fosfato (0.08 M, pH: 6), posteriormente se adicionó 100 µL de la enzima α-amilasa termoestable, se cubrió con un papel de aluminio con la finalidad de protegerlo de la luz, posteriormente se incubó en baño maría a 95°C por 30 minutos con agitación cada 5 minutos, se atemperó y se ajustó el pH a 7.5 con NaOH (0.275 N), se continuó adicionando 100 µL de proteasa (5 mg/ mL), se incubó a 60°C por 30 minutos con agitación continua a 20 rpm, se atemperó y se ajustó el pH a 4.5 con HCl (0.325 N), posteriormente se adicionó 300 µL de amilogucosidasa donde se incubó a 60°C por 30 minutos con agitación continua a 20 rpm se atemperó. Después de incubarse se filtró con papel Whatman No. 4 a peso constante, y se realizaron dos lavados con 15 mL de agua destilada a 60 °C, el filtrado obtenido después de los dos lavados se recuperó y almacenó para determinación de fibra

soluble, como se describe más adelante. Por otro lado, el papel filtro junto con la muestra se secó en una estufa a no más 60 °C por 24 h, hasta peso constante, finalmente se pesaron. La fibra insoluble será el remanente en el filtro. La determinación se realizó por triplicado y los resultados se expresaron en porcentaje de base seca/g de muestra mediante las siguientes formulas:

$$\% FDI = \frac{\text{Papel con muestra} - \text{Papel inicial}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

V.5.2 Fibra dietaría soluble

De la determinación anterior (fibra dietaría insoluble), se conservó el residuo del filtrado, a éste se le adicionó un volumen igual de etanol al 80% (1:1 v/v), se dejó precipitar por 24 h. El precipitado se filtró con el papel Whatman No. 42 a peso constante, se realizaron 2 lavados con 15 mL de acetona al 80%. Se dejó secar el papel filtro a una temperatura de 24 h a 60 °C, hasta peso constante. Finalmente se pesó el papel filtro, siendo el contenido la fibra soluble. La determinación se realizó por triplicado y los resultados se expresaron en porcentaje de base seca/ g de muestra mediante la siguiente formula:

$$\% FDS = \frac{\text{Peso del papel con muestra} - \text{peso del papel solo}}{\text{peso de la muestra inicial}} \times 100$$

V.5.3 Fibra dietaría Total

La fibra total se determinó como la sumatoria de las fracciones obtenidas de la fibra insoluble y fibra soluble, los resultados se expresaron como porcentaje en base seca/ g de muestra:

$$\% FDT = \text{Fibra dietaria insoluble (\%FDI)} + \text{Fibra dietaria soluble (\%FDS)}$$

$$\% FDS = \text{Porcentaje de Fibra dietaría total}$$

V.5.4 Carbohidratos

El cálculo para el contenido de carbohidratos de la muestra se realizó por diferencia de peso, con respecto a los porcentajes de las determinaciones anteriores (proteína, lípidos, cenizas y humedad).

V.6 Compuestos fenólicos

V.6.1 Extracto metanólico (compuestos fenólicos libres)

Se realizó de acuerdo con la metodología de Cardador-Martínez et al., (2002). Se peso 1 g de frijol crudo previamente tamizado por malla 60, se adicionaron 10 mL de metanol, posteriormente se taparon los matraces con aluminio para protegerlos de la luz y se colocaron en agitación constante durante 24 horas. Pasado este tiempo, se centrifugó a 5000 rpm durante 10 minutos y se guardó el precipitado y el sobrenadante en diferentes tubos.

V.6.2 Determinación de fenoles totales.

El contenido fenólico se realizó siguiendo la técnica de Folin-Ciocalteu. La cual consiste en la preparación de la muestra con 50 µL del extracto, 250 µL de agua destilada y 125 µL del reactivo Folin-Ciocalteu, posteriormente se agitó y se añadieron 625 µL de Na₂CO₃ al 7%; la mezcla formada se incubó por 2h en la oscuridad y se colocaron 250 µL en una microplaca por triplicado. El blanco se preparó con la mezcla anterior, a excepción del extracto, el cual fue remplazado por 50 µL de metanol. Las lecturas se realizaron en un espectrofotómetro Multiskan ASCENT (ThermoLab Systems, versión 1.3.1) a 760nm.

V.6.3 Flavonoides totales

Se cuantificaron utilizando el método de Oomah et al. (2005). Se colocaron 50 µL del extracto metanólico en una microplaca y posteriormente 180 µL de metanol y 20 µL de 2-aminoetil-difenilborato al 1% en metanol, se mezclaron y se determinó su absorbancia a 404 nm. La concentración de flavonoides se determinó mediante una

curva de calibración de 0 a 50 µl/ mL. Los resultados se expresaron como mg equivalentes de rutina /g de muestra.

V.6.4 Cuantificación de taninos

La cuantificación de taninos condensados se realizó a través del método de la vainillina (Deshpande, y Cheyran, 1987). Se tomaron 50 µL del extracto y se adicionaron 200 µL de reactivo de vainillina 0.5 % (vainillina 1 % en metanol y HCl 8 % en metanol en una relación 1:1) y se colocaron en una placa de 96 pocillos. Para la preparación del blanco se adicionaron 50 µL de metanol y 200 µL de HCl al 4 %. Los taninos condensados se cuantificaron a 492 nm en un lector de microplacas (Multiskan ASCENT ThermoLab Systems, versión 1.3.1). Cada muestra se analizó por triplicado y los resultados se obtuvieron mediante la curva de calibración de (+)-catequina. Los resultados se expresaron como mg equivalentes de (+)- catequina /g de muestra.

V.6.5 Capacidad antioxidante DPPH

Se llevo a cabo de acuerdo con lo descrito por Fukomoto y Mazza (2000), adaptado a microplaca. Para la solución control, se añadió a la microplaca 20 µL de metanol con 200 µL de la solución DPPH. Las muestras se prepararon por triplicado y se leyeron cada 10 minutos a una longitud de onda de 540 nm. La actividad antiradical o antioxidante se calculó como el porcentaje de decoloración DPPH (Burda y Oleszek, 2001):

$$\%Actividad\ antiradical = \frac{1 - (Absorbancia\ muestra - Absorbancia\ blanco)}{(Absorbancia\ del\ control - Absorbancia\ blanco)} \times 10$$

Los valores se compararon a través de una curva de calibración de trolox y los resultados se expresaron µmol equivalentes de trolox/g de muestra.

V.6.6 Capacidad antioxidante ABTS

La actividad antirradical se realizó por el método del ácido 2,2-azino(bis-3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) (ABTS) descrito por Nenadis *et al.*, 2004. Se preparó

una solución acuosa 7 mM de ABTS y 140 mM de K₂SO₄, los cuales se mezclaron con 5 mL de la solución ABTS y 88 µL de la solución de persulfato de potasio. Se cuidó de no exponerlo a la luz durante 12 h con el fin de que se lleve a cabo la generación del radical. Posteriormente, se realizó una dilución mezclando 500 µL de la solución y 20-25 mL de etanol y se leyó en un espectrofotómetro (Multiskan ASCENT ThermoLab Systems, versión 1.3.1) a una longitud de onda de 734 nm.

El porcentaje de inhibición se calculó de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Inhibición} = \frac{1 - (\text{Absorbancia muestra} - \text{Absorbancia blanco})}{(\text{Absorbancia del control} - \text{Absorbancia blanco})} \times 100$$

Los valores de las muestras se determinaron con curva de calibración y los resultados de capacidad antioxidante y se expresaron como µmol equivalentes de Trolox / g de muestra.

V.6.7 Almidón resistente

Se llevo a cabo la metodología especificada en por la AOAC método 2002.02 con ayuda del kit Megazyme Resistant starch K-RSTAR (Ireland, 2015).

Se pesaron 100 mg de muestra en un tubo eppendorf y se le adicionaron 4 mL de la enzima α-amilasa pancreática (10 mg/mL) contenida en una solución de amilogucosidasa (AMG) de 3 U/mL por triplicado. Los tubos se taparon y se incubaron en agitación a 200 rpm a 37 °C durante 16 h. Posteriormente se colocaron 4 mL de etanol (99% v/v) y se agitaron en un vórtex. Los tubos se agitaron a 3000 rpm por 10 minutos. Después se decantó cuidadosamente los sobrenadantes y los pellets se re-suspendieron en 2 mL de etanol 50% y se agitaron en un vórtex. Se añadieron 6 mL de etanol 50%, se mezclaron y se centrifugaron nuevamente a 3000 rpm por 10 minutos. Se decantan los sobrenadantes y se repitió el proceso.

Se añadió una barra magnética y 2 mL de KOH 2M en cada tubo y se re-suspendieron los pellets, se agito por 20 minutos en un baño de hielo con un

agitador magnético. Se añadió 8 mL de buffer acetato de sodio (pH=3.8) en cada tubo y se agito. Inmediatamente 0.1 mL de la solución AMG 3300 U/mL se mezclaron y se colocaron en un baño de agua a 50 °C y se incubaron con agitación intermitente durante 30 minutos. Los tubos se centrifugaron a 3000 rpm por 10 minutos. Se transfirió 0.1 mL del sobrenadante a un tubo y se añadió 3 mL del reactivo glucosa oxidasa / peroxidasa (GOPOD) y se incubo a 50°C por 20 minutos.

Se medio la absorbancia de cada solución a 510 nm contra el blanco (0.1 mL de buffer acetato de sodio 100 mM pH 4.5 y 3 mL del reactivo de GOPOD).

La cantidad de almidón resistente (g/100 g de muestra) se calculó a través de la siguiente fórmula utilizando el programa Mega-Calc™:

$$\text{Almidón resistente} = \Delta E \times F \times \frac{100}{0.1} \times \frac{1}{1000} \times \frac{100}{W} \times \frac{162}{180}$$

$$AR = \Delta E \times F \times W \times 9.27$$

Donde:

ΔE = Absorbancia (reacción) leída contra el blanco.

F = Conversión a partir de la absorbancia a microgramos (absorbancia obtenida por 100 µg de D-glucosa en a reacción de GOPOD es determinada y F=100 (µg de D-glucosa) dividida entre la absorbancia GOPOD por estos 100 µg de D-glucosa.

100/0.1 = Corrección del volumen (0.1 tomados de 100 mL).

1/1000 = Conversión de microgramos a miligramos.

W = Peso seco de la muestra analizada= Peso x [(100-contenido de humedad)/100]

100/W = Factor que representa el almidón resistente como el porcentaje del peso de la muestra.

162/180 = Factor para convertir de D-glucosa libre, según se determine, a anhidro-D-glucosa como ocurre en el almidón.

10.3/0.1 = corrección de volumen (0,1 ml tomada de 10,3 ml) para muestras que contienen 0-10% de almidón resistente donde la solución de incubación no se diluye y el volumen final es de ~ 10.3 ml.

V.6.8 Digestibilidad de carbohidratos *in vitro*

La digestibilidad de carbohidratos *in vitro* se realizó mediante las técnicas de almidón resistente, almidón total y almidón disponible.

V.6.9 Almidón total

La determinación de almidón total se llevó cabo siguiendo la técnica descrita por Goñi *et al.* (1997). Se pesaron 50 mg de muestra en tubos Falcon de 50 mL. A los tubos se añadieron 3 mL de agua destilada y 3 mL de KOH 4.0 M. Esta solución se llevó a agitación constante a temperatura de 25 °C durante 30 min. Finalizado el tiempo, se adicionaron 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 HCl o NaOH 0.1 M. Posteriormente, se adicionaron 60 µL de amiloglucosidasa y se llevaron los tubos a incubación a 60 °C con agitación constante durante 45 min. Pasado este tiempo, las muestras se centrifugaron a 3000 g durante 15 min; el sobrenadante se recuperó en un matraz de 50 mL. Se realizaron 2 lavados con 5 mL de agua destilada repitiendo el paso anterior para cada lavado. La medición del contenido de glucosa en las muestras se realizó mediante el reactivo glucosa oxidasa/peroxidasa (GOD/POD), midiendo la absorbancia a 510 nm. Se compararon los resultados respecto una curva de glucosa y se calculó el contenido de almidón con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Almidón total} = \frac{(\mu\text{g/mL de glucosa})(\text{volumen de aforo})(0.9)(100)}{\mu\text{g de muestra}}$$

V.6.10 Almidón disponible

La metodología por Goñi *et al.* (1997). En un matraz se pesaron 50 mg de muestra, se adicionaron 20 mL de agua y se sometieron a agitación durante 10 min a

temperatura de 25 °C. Posteriormente, se cubrieron los matraces con papel aluminio y se adicionaron 100 µL de α-amilasa termoestable a la solución. Los matraces se pusieron a baño maría a 95 °C con agitación constante durante 20 min. Al finalizar el tiempo, se dejó que los matraces alcancen la temperatura ambiente. El contenido del matraz fue aforado a 100 mL. Después, en un tubo Eppendorf color ámbar se colocó 1 mL de solución amortiguadora de acetato (0.4 M y pH 4.75), 25 µL de amiloglucosidasa y 300 µL de muestra. La solución resultante se dejó incubando bajo agitación constante a 60 °C durante 30 min. Al terminar este lapso, se dejó atemperar el tubo y se centrifugo a 10,000 rpm durante 5 min, se hicieron 2 lavados de 1 mL con agua destilada. Los sobrenadantes se recuperaron y se aforo a 10 mL con agua. Las muestras se midieron según lo descrito para almidón resistente.

$$\% \text{ Almidón disponible} = \frac{(\mu\text{g/mL de glucosa})(\text{volumen})(\text{dilución})(0.9)(100)}{\mu\text{g de muestra}}$$

V.6.11 Digestibilidad *in vitro* de proteínas

Se determino por lo descrito por Hsu *et al.*, (1977). Se disolvió exactamente 63.8 mg de proteína pura en 10 mL de agua destilada, posteriormente se ajustó el pH a 8 y se incubo hasta alcanzar 37 °C por 15 min, una vez alcanzado esa temperatura se adiciono 1 mL de tripsina, quimiotripsina, proteasa de bovino (1.58 mg de tripsina, 3.65 mg de quimiotripsna y 0.45 de proteasa en 1 mL de agua destilada), se incubo por 10 minutos a 37 °C con agitación continua, posteriormente se adiciono 1 mL de proteasa bacteriana (1.48 mg en 1 mL de agua destilada), para finalizar se incubo a 55 °C por 10 minutos y agitación continua, pasado el tiempo se enfrió y se midió el pH; Se realizo un blanco con agua destilada y un control con caseína. La digestibilidad se expresó en porcentaje *in vitro* mediante la siguiente formula:

$$\% \text{ digestibilidad in vitro} = 234.84 - 22.5 (\text{lectura final del pH})$$

V.7 Determinación de factores antinutricios

V.7.1 Cuantificación de taninos condensados

Se llevo a cabo la técnica por Deshpande y Cheyra en 1987, con modificaciones para microplaca, se comenzó utilizando 1 g de BF, HB y HST, se adicionó 10 mL de metanol puro, se agitó por 24 horas a temperatura ambiente y protegidos de la luz, posterior de ese tiempo se centrifugó a 5000 rpm por 10 min a temperatura de 21 °C, recolectando el sobrenadante en frascos color ámbar. Se tomó 50 µL de los viales ámbar y se colocaron en los pozos de la microplaca transparente de 90 pozos, posteriormente se 43 adicionó 200 µL de la solución de vainillina (0.5%: 1% vainillina y 8% de HCl (1:1 metanol)), se corrió un blanco con 50 µL del sobrenadante más 200 µL de HCl (4%), se almacenó la microplaca a 30 °C por 20 minutos en ausencia de luz, la lectura se realizó a 492 nm con ayuda del lector de microplacas. Adicionalmente se corrió una curva de calibración de (+) – Catequina, los datos se expresan en mg (+) – catequina equivalentes en gramos de muestra.

V.8 Procedimiento para el explotado de semilla

V.8.1 Pretratamiento de la semilla

Antes de llevar a cabo los procedimientos de reventado se acondicionaron 30 g de semillas en un proceso de cocción en una olla de barro, donde se agregó una cantidad necesaria de agua purificada a una temperatura de 70°C durante 120 min. Pasado este tiempo las semillas se sacaron a una charola de acero inoxidable con una sanitas previamente colocadas arriba de la charola, las semillas se dejaron reposar durante 30 min para eliminar la humedad de la superficie.

V.8.2 Proceso de reventado

Se utilizo un horno por aire forzado con un controlador de temperatura y aire para reventar las semillas de frijol a una temperatura del aire estabilizada de 180 ° C durante 10, 15 y 20 min.

V.9. Calidad del núcleo reventado

V.9.1 Volumen de la semilla antes y después del explotado

Una vez reventado el 50% de las semillas, se realizó visualmente, se tomaron un 10 semillas al azar para realizar su medición, se llevó a cabo mediante el método descrito por Van Beem y Spaeth (1990), en el que se utilizó un rango de medición de la semilla antes y después de la expansión expresado de la siguiente manera:

$$V = 4/3 \cdot A \cdot B \cdot C$$

Donde: A es igual al ancho de la semilla (medición de los dos cotiledones juntos); B, es el valor del largo de la semilla (largo de un cotiledón) y C, el valor de la medición del alto de la semilla (ancho del cotiledón).

V.9.2 Porcentaje de semillas reventadas y sin reventar

El porcentaje de semillas reventadas y sin reventar se calculó mediante el método descrito por (Otoro *et al.*, 2016) con referencia al total de la semilla.

V.9.3 Índice de expansión

El índice de expansión se calculó mediante la ecuación de Mishra *et al.*, (2015). El volumen de expansión es igual a la relación entre el volumen final de la semilla reventada (V1) dividido por el volumen de la semilla antes del reventado (V2).

$$\text{Indice de Expansion} = \frac{V1}{V2}$$

V.9.4 Dureza del explotado de la semilla de frijol reventón

La dureza de la semilla se determinó utilizando un texturómetro (Texture Analyzer, marca Stable Micro Systems, modelo TA-XT2, Australia). Este equipo está diseñado para determinar la fuerza de compresión y tensión.

V.10. Análisis microbiológico

Se realizó un análisis microbiológico con la finalidad de asegurar la inocuidad del producto, buscando el cumplimiento con las especificaciones de acuerdo con la PROY-NOM-216-SSA1/SCFI-2002 (Cuadro 6).

Cuadro 6. Límites máximos microbiológicos en botanas

Determinación	Límite máximo
Coliformes totales	50 UFC/g
Hongos y levaduras	300 UFC/g
Mesófilos aerobios	10,000 UFC/g

La cuenta de microorganismos para coliformes totales se realizará mediante la NOM-113-SSA1-1994 y para salmonella *spp.* con la NOM-114-SSA1-1994.

VI. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos obtenidos se analizaron mediante el programa R con un análisis de varianza (ANOVA) para cada parámetro probado y se expresaron como la media \pm la desviación estándar, seguido de un análisis de correlación múltiple para determinar la relación de la calidad del estallido. Finalmente, se realizó un Análisis de Componentes Principales (PCA) para determinar la contribución de cada parámetro evaluado hacia el comportamiento general de los datos; por lo tanto, permitirá identificar que propiedades influyen en los atributos del frijol reventado. Para la prueba sensorial se realizará un análisis Kruskal-Wallis ($p > 0.05$), se expresarán como la media.

Para el análisis nutricional y nutracéutico, así como el análisis in vitro se realizó una comparación de medias por el método de Tukey-Kramer.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

VII.1 Propiedades físicas de la semilla

VII.1.1 Dimensiones de la semilla

La caracterización física de la semilla de frijol arroja información fundamental para determinar diferencias entre variedades de semillas, así como los parámetros de calidad que llegan a estar relacionadas con el uso final. Un parámetro importante para cereales y semillas es el tamaño del grano ya que está relacionado con las condiciones del cultivo y su eficiencia el cual puede llegar a repercutir en el desarrollo del grano o semilla. El tamaño del grano o semilla está definido por el ancho, largo y espesor va en función de la variedad, así como de las condiciones de su cultivo como el tipo de clima y suelo (Morales- Santos *et al.*, 2017).

Las dimensiones de la semilla de frijol reventón se muestran en el cuadro 7. Para el largo de la semilla se ha reportado características unidimensionales para frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) por lo que son iguales ya que son del mismo tipo y que van de 11.7 a 15.4 mm (Espinosa- Perez *et al.*, 2015). Por lo que el frijol reventón de este estudio se encuentra dentro de este rango con 11.57 ± 0.65 mm, mientras que el ancho la semilla de frijol reventón presentó 7.92 ± 0.31 mm y espesor de 6.42 ± 0.51 mm, sin embargo, se han reportado valores por debajo de semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) con un 4.84 mm para el ancho y 3.33 mm para espesor (Espinosa- Perez *et al.*, 2015).

Se sabe que el tamaño de la semilla es un parámetro importante dentro de la industria alimentaria y para fines del explotado (Mishra *et al.*, 2014).

Las diferencias encontradas pueden atribuirse a la variación y diversidad, tanto genética como morfológica de cada especie, sin mencionar que también pueden existir variaciones entre mismas variedades y esto puede deberse a las condiciones de siembra y a los diferentes tipos de climas.

VII.1.2 Peso de mil granos

El peso de mil granos (PMG), es un parámetro de calidad que está asociado con la capacidad de la semilla de generar materia seca durante su desarrollo, ya que está asociado con la composición química de la semilla, de igual manera está relacionado con los rendimientos para el uso comercial que se le quiera dar (Preiss *et al.*, 2017). Por lo que la semilla de frijol reventón presentó un valor en peso de 605.4 ± 3.16 g mayor a los rangos 299.4 a 493.8 g para diferentes especies de frijol reventón reportados por (Marmolejo *et al.*, 2018).

VII.1.3 Peso hectolítrico

El peso hectolítrico, es otro de los parámetros de calidad de los granos y semillas que nos indica un posible daño en el pericarpio o en la testa, el cual puede ser causado por el deterioro del mismo grano, las condiciones de almacenamiento o bien por insectos, también se ve asociado con la dureza y la microestructura de la semilla, por lo que el frijol reventón presentó un peso hectolítrico de 75.07 ± 0.33 Kg/hl, valor que se encuentra dentro del rango reportado para semillas *Phaseolus vulgaris* de 73 kg hL⁻¹ y 75 kg hL⁻¹ (Bernabe *et al.*, 2004).

Cuadro 7. Características físicas del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad reventón.

Composición	Frijol reventón
Largo ¹	11.57 ± 0.65
Ancho ¹	7.92 ± 0.31
Espesor ¹	6.42 ± 0.51
PMG ²	605.4 ± 3.16
Peso hectolítrico ³	75.07 ± 0.33

Cada valor representa la media de tres repeticiones \pm la desviación estándar.

¹(mm), ²Peso de mil granos (g), ³(Kg/hL)

VII.2 Composición química

La caracterización química de la semilla de frijol comprende parámetros que varían de acuerdo con cada especie o variedad.

En el cuadro 8 se muestra la composición química del frijol reventón sin ningún tratamiento. El valor obtenido para proteína es similar a lo reportado por Marmolejo *et al.* (2018) con un contenido del 22.1% para frijol reventón. La calidad de la proteína está dada por la composición de sus aminoácidos, también depende de las condiciones agronómicas como: las temperaturas durante su desarrollo y la fertilidad del suelo. El porcentaje de humedad entra dentro del rango reportado por la FAO (2016) que va del 8 al 14% para granos y semillas. Cabe mencionar que no se debe de exceder el 14%, ya que contenidos mayores pudieran generar la proliferación de hongos lo que propicia un daño irreversible.

Cuadro 8. Composición química del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad reventón.

Composición	Frijol reventón
Proteínas	21.91 ± 0.25
Lípidos	1.41 ± 0.22
Humedad	9.57 ± 0.03
Cenizas	4.66 ± 0.29
Carbohidratos ¹	72.00 ± 0.21

Los datos se expresan como la media ± la desviación estándar de dos materiales diferentes. La composición química está expresada en porcentaje (%).¹Carbohidratos por diferencia.

El porcentaje de lípidos en el frijol reventón está en el intervalo de los reportados en la literatura. En donde se puede destacar un mayor porcentaje de lípidos para frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad bayo madero con 1.7%, la variación se (Suarez-Martínez *et al.*, 2016) puede atribuir a las diferencias genéticas entre las variedades (Ratnavathi *et al.*, 2018).

El contenido de cenizas indica el contenido de minerales que puede llegar a tener un material. El frijol se caracteriza por ser rico en hierro, magnesio y calcio. El frijol reventón presentó un porcentaje más alto a lo ya reportado, de 3.5% (INIA, 2017).

El contenido de carbohidratos en el frijol es uno de los parámetros más importantes, debido a que forma el 60% del peso total de la semilla y es un parámetro determinante para el uso que se le quiera dar como producto final. Los carbohidratos de la semilla de frijol están compuestos por almidón, que está constituido por amilosa y amilopectina, celulosa, hemicelulosa, pectinas y ligninas, siendo el almidón el más abundante (Suárez- Martínez, 2016).

VII.2.1 Fibra dietaría

Un factor importante dentro de los carbohidratos que se encuentran dentro de la semilla de frijol es la presencia de la fibra dietaría, y este juega un papel muy importante. Una de sus principales funciones es la capacidad de disminuir el índice glucémico, y la prevención de enfermedades como estreñimiento y problemas gastrointestinales de los alimentos en los que está presente. De acuerdo con Dai y Chau (2017), el mayor porcentaje de fibra se localiza en la testa.

Los porcentajes de fibra dietaría, se presentan en el cuadro 9 en donde se muestran los resultados de fibra soluble e insoluble sin ningún tratamiento. Para frijoles de la variedad reventón (*Phaseolus vulgaris* L.) se reportó una fibra dietaría total del 17.4%. De acuerdo con Mateos-Aparicio *et al.* (2010) el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) presentó fibra dietaría soluble (9.3%) y una fibra dietaría insoluble (30.8%), cuyos contenidos varían de acuerdo con la variedad y factores ambientales

durante la cosecha. Se ha visto el efecto benéfico que tiene la fibra dietética insoluble del frijol que confiere la fracción no digerible, desde la prevención de enfermedades como estreñimiento y problemas gastrointestinales.

Cuadro 9. Contenido de fibra total, soluble e insoluble en la semilla de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad reventón

Composición	Frijol reventón
Fibra Dietaría	
Total ¹	25.60 ± 0.85
Soluble	10.33 ± 0.56
Insoluble	15.33 ± 0.82

Los datos se expresan como la media ± la desviación estándar de dos materiales diferentes. Los resultados están expresados en porcentaje (%).

¹ fibra dietaría total se determinó por la sumatoria de fibra soluble e insoluble.

VII.2.2 Almidón

El contenido total se presenta en el Cuadro 10. Se ha informado que el almidón resistente involucra varios factores, como a la composición química que conforma a la semilla de frijol, puede verse influenciado por la interacción del almidón de la semilla con otros componentes dentro del grano, como proteínas, compuestos fenólicos así como lípidos presentes, así como también la microestructura de la semilla (Öztürk y Mutlu , 2019).

Cuadro 10. Contenido de almidón en la semilla de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad reventón

Composición	Frijol reventón
Almidón	
Total	47.40 ± 1.45
Resistente	16.93 ± 1.16
Disponible	21.22 ± 0.82
Digestibilidad de carbohidratos	44.76 ± 1.18

Los datos se expresan como la media ± la desviación estándar de dos materiales diferentes. Los resultados están expresados en porcentaje (%).

En el presente estudio se puede observar un valor de 16.93 ± 1.16 , mientras que Celada *et al.* (2017) reportó para almidón resistente un rango mayor de 24.57 %. Estas diferencias pueden atribuirse a factores ambientales y a la cosecha, el almidón funciona como prebiótico y promueve el crecimiento de probióticos en el intestino (Singh *et al.*, 2016). Mientras que para el contenido de almidón total fue de 21.22%, Singh *et al.* (2016) reportó para frijol *Phaseolus* un porcentaje de 32.27%, sin embargo, dependiendo de los requerimientos nutricionales y calóricos se puede elegir una variedad de frijol con mayor o menor cantidad de AD. En almidón total se muestra un porcentaje de 47.40%. Sanchez *et al.*, (2018) reporta 52.07% de AT, de acuerdo a literatura podemos encontrar una gran variedad de reportes del contenido de almidón ya que diversos factores como, patrones de cristalinidad, interacciones moleculares, zona de cultivo y arreglos conformacionales juegan un papel importante en el contenido de almidón. Para la digestión del almidón se requiere que éste sea capaz de llegar al intestino delgado, esto llega a depender de la proporción de amilosa/amilopectina así como de la interacción con lípidos y proteínas, ya que está relacionado con el almidón disponible libre, lo que quiere

decir que no llega a formar complejos o que no son liberados durante la acción enzimática durante la digestión por lo que son más fáciles de llevar al intestino delgado (Chinedum *et al.*, 2018). El porcentaje de la digestibilidad fue de 44.76%. Sanchez *et al.*, (2018) reporta un porcentaje de 38.83%, esta diferencia puede atribuirse a tipo de variedad morfológica de la semilla (Singh *et al.*, 2016).

VII.3 Composición nutraceutica del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad reventón

La semilla de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) considerada una fuente de compuestos fenólicos que poseen propiedades funcionales como antioxidantes (Girard y Awika, 2018). Los compuestos fenólicos incluidos en la semilla se dividen en: fenoles totales, lignanos, taninos y flavonoides, los cuales confieren actividad biológica antioxidante y estos se relacionan con la disminución de enfermedades crónicas degenerativas no transmisibles (ECDNTs), y que inhiben mecanismos oxidativos que conducen a la degeneración celular, confiriendo efectos benéficos a la salud (Pérez- Pérez *et al.*, 2020).

Se presentan los resultados para fenoles totales en el Cuadro 11. Pérez- Pérez *et al.*, (2020) ha reportaron un intervalo de fenoles totales que oscilan entre 1.91 a 5.66 mg EAG/g en frijol crudo el contenido de fenoles libres como ligados, se han asociado con la pigmentación de la semilla según la variedad, esto se debe a que las semillas de frijol con altos niveles de fenoles son aquellas con la testa de coloración rojiza y pintas.

Otros compuestos importantes son los flavonoides, los cuales son encontrados en pequeñas cantidades, sin embargo, sus propiedades biológicas son importantes entre las que se encuentran. Estos tienen un efecto importante en las semillas de frijol como en la coloración de la misma (Girard y Awika, 2018). En su cuantificación se obtuvo de manera general donde se pueden observar que el valor se encuentra por debajo de lo reportado por Pérez- Pérez *et al.*, (2020), donde obtuvieron valores entre 0.83 a 3.31 mg EQ/g en frijol crudo.

Los compuestos anti- nutricos entre los cuales se encuentran los taninos condensados son elementos químicos que contienen las semillas de frijol causando una baja digestibilidad proteica (Diaz- Vazquez *et al.*, 2019). El valor de taninos en el frijol reventón observados en el Cuadro 11 es menor a lo ya reportado por Ramirez-Jimenez *et al.* (2010) de 5.68 ± 0.08 mg eq. (+)-catequina/g muestra. Se ha visto que existe una relación entre los niveles de estos compuestos y el color de la testa del frijol, el color claro tiene menor cantidad de taninos que las oscuras.

Las diferencias encontradas entre los parámetros medidos para el frijol reventón (*Phaseolus vulgaris* L.) y los de la literatura se pueden atribuir principalmente al tipo de variedad de la semilla, así como a las condiciones de siembra y almacenado.

Cuadro 11. Composición nutraceútica del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad reventón

Composición	Frijol reventón
Fenoles Totales¹	1.13 ± 0.10
Flavonoides²	0.81 ± 0.06
Taninos condensados³	1.89 ± 0.27

Cada valor representa la media y la \pm desviación estándar de 3 réplicas.

¹ mg. eq. de ácido gálico/ g de muestra seca.

² mg. eq. de rutina/ g de muestra seca.

³ mg. Eq. (+) catequina /g de muestra seca.

VII.4 Capacidad antioxidante

Hay diferencias en las determinaciones de DPPH y ABTS, esto se explica por los diferentes radicales utilizados y por las afinidades que presentan los radicales, por ejemplo, el ABTS reacciona con antioxidantes lipofílicos e hidrofílicos (Celada *et al.*, 2017). Mientras que DPPH en la variedad de frijol reventón se pueden observar en el Cuadro 12. De acuerdo con investigaciones, se ha reportado el coeficiente de la inhibición del radical DPPH en cotiledón y cáscara de frijoles es de $7.593 \mu\text{moles}$

ET/g en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). La diferencia en la actividad antioxidante de las variedades estudiadas se pueden atribuir a diferencias en la cantidades de metabolitos secundarios con actividad antioxidante producto de variaciones ya sea en las condiciones de crecimiento como suelo, fertilización, humedad, plagas, entre otras (Wu *et al.*, 2004).

Para ABTS se ha reportado un rango entre 0.60 a 3.01 $\mu\text{M ET/g}$ en frijoles crudos (*Phaseolus vulgaris* L.), se ha observado que existe un mayor porcentaje de capacidad antioxidante en semillas rojizas y negras, que en variedades blancas (Pérez- Pérez *et al.*, 2020).

Cuadro 12. Capacidad antioxidante de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.)

Composición	Frijol reventón
DPPH ¹	1.799 \pm 0.1
ABTS ¹	5.62 \pm 0.41

Cada valor representa la media y la \pm desviación estándar de 3 réplicas. ¹($\mu\text{moles eq. de trolox/ g de muestra seca}$).

VII. 5 Digestibilidad *in vitro* de proteínas del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad reventón

Cuadro 13. Digestibilidad *in vitro* de proteínas del frijol variedad reventon

Composición	Frijol reventón
Digestibilidad <i>in vitro</i> de proteínas ¹	64.38 \pm 0.43

Cada valor representa la media y la \pm desviación estándar de 3 réplicas. ¹ Expresado en porcentaje (%).

La digestibilidad *in vitro* para el frijol reventón (*Phaseolus vulgaris* L) fue de 64.38% Celada *et al.*, 2017, reportan un digestibilidad de proteínas para frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) de 52 a 75%. Se ha reportado que el contenido de proteína depende la variedad del frijol y que las proteínas pueden comportarse de diferentes maneras durante el proceso digestivo debido a diferencias en sus características de tamaño, conformación y estructura, al igual que la presencia de proteasas (Ramon-Flores *et al.*, 2018). Además en los frijoles también se presentan compuestos antinutricios que disminuyen la biodisponibilidad de aminoácidos, por lo que nuestro porcentaje es bueno y este puede ayudar a la prevención de osteoporosis, debido a que se asocia a una menor producción de iones hidrógeno en la hidrólisis de los aminoácidos de esta proteína vegetal (Ramon-Flores *et al.*, 2018).

VII.6 Condiciones para el explotado de la semilla de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad reventón.

Para el primer preliminar, se realizó un acondicionamiento previo de la muestra ajustando el porcentaje de humedad, se observó que después de 2 días las semillas de frijol alcanzaron 14.6%. Se realizaron pruebas con el 14.6% de humedad en temperaturas de 180°C, 200°C y 220°C. Con esta humedad solo se obtuvo el desprendimiento de la testa y la textura de la semilla estaba dura, a tal grado que no se podía masticar, esto debido a que el porcentaje de humedad no fue suficiente para que se pudiera llegar a dar el estallamiento de la semilla (Figura 7).



Figura 7. Preliminar para la expansión de la semilla de frijol reventón con humedad del 14.6%.

Cuadro 14. Preparación recomendada para soluciones saturadas de sal a 25°C.

Para el segundo preliminar se utilizaron sales como: cloruro de magnesio ($MgCl_2$) y acetato de potasio (CH_3CO_2K), y agua. Cuadro 14.

Cuadro 14. Soluciones de saturación para la humedad del frijol reventón (*Phaseolus vulgaris* L.)

Sal	sal (g)	Agua (mL)
Acetato de potasio	30	9.75
Cloruro de magnesio	30	3.75

(Spiess y Wolf., 1987).

En este preliminar se utilizó un frasco de vidrio con un circuito cerrado donde se colocaron los frijoles por quince días, con la finalidad de mantener la humedad relativa (HR) y poder obtener la humedad que se estaba considerando para el explotado, en este preliminar nos dio una humedad para cloruro de magnesio de HR 32.73% y para acetato de potasio una HR de 22.60%, para poder llevar el frijol a una temperatura en horno por aire forzado de 180°C. los resultados que se obtuvieron no fueron los esperados debido a que no se alcanzó la HR durante su proceso, esto pudo deberse a que el frijol pudo presentar alguna modificación que

afecto directamente la estructura esférica de los gránulos de almidón. Estas modificaciones generalmente afectan las propiedades de hidratación (Figura 8).

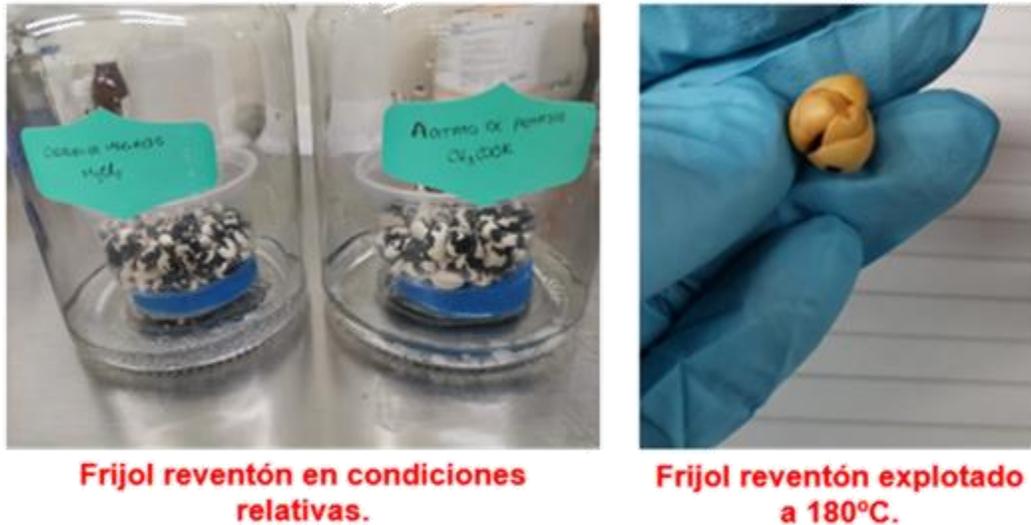


Figura 8. Preliminar con las soluciones para los explotados de frijol reventón

Para el tercer preliminar el frijol se sometió a un pre-tratamiento (proceso de cocción) por 1 hora y 30 min, con una relación de: una porción de agua y una de semillas, pasado el tiempo ya mencionado nos dimos cuenta de que las semillas presentaron un daño físico, esto debido al tiempo y la temperatura de 76°C en el que se sometieron (Figura 9).



Figura 9. Frijol reventón después del proceso de cocción.

VII.7 Condiciones finales y la influencia de tiempo en los parámetros de explotado del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L) variedad reventón.

Se establecieron las condiciones del pre-tratamiento (proceso de cocción), donde se estableció un tiempo de 45 min. llegando a una temperatura de 76-77°C, posteriormente se sacaron las semillas y se dejaron secar por 5 min. Se llevaron a un horno por aire forzado a 180°C por 5, 15 y 20 min. Con la finalidad de conocer el tiempo en el proceso de expansión. En último preliminar se estableció el mejor tiempo para el explotado que fue de 15 min (Figura 10). Después de obtener los explotados a diferentes condiciones (Cuadro 15).



Figura 10. Prueba preliminar para la expansión del frijol reventón, con tiempo de 5, 15 y 20 min.

Cuadro 15. Parámetros de explotado del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad reventón.

Variedad	Vol. Del frijol antes del explotado (%)	Vol. Del frijol después del explotado (%)	Granos sin reventar (%)	Porcentaje de reventado	Índice de expansión
Frijol Reventón					
5 min	27.56 ± 0. 64 ^a	29.25 ± 0.56 ^b	90.0 ± 5.7 ^b	10.0 ± 0.54 ^b	1.06 ± 0.22 ^b
15 min	28.21 ± 2. 24 ^a	31.34 ± 0. 58 ^a	10.0 ± 0. 54 ^a	90.0 ± 0.05 ^a	1.11 ± 0. 56 ^a
20 min	27.42 ± 0. 68 ^a	31.95 ± 0. 41 ^a	5.00 ± 0.09 ^a	95.0 ± 0.05 ^a	1.16 ± 0. 62 ^a

Los datos se expresan como la media ± la desviación estándar, las letras representan diferencias estadísticas entre las filas por la prueba Tukey ($\alpha=0.05$).

VII.7.1 Volumen del frijol antes y después del explotado

Como se muestra en el Cuadro 15 el volumen después del explotado presenta una diferencia significativa en los explotados de 5 min. con un menor porcentaje de expansión en comparación con los otros dos parámetros, esto puede deberse a que el parámetro de 5 min. se sometió a un menor tiempo en el horno por medio de aire forzado caliente. Para el volumen del explotado no existe ninguna diferencia significativa, ya que se utilizó el mismo pre-tratamiento para todos los frijoles con diferente tiempo. Mishra *et al.*, (2014) mencionan que el espesor de la testa y del pericarpio en granos y semillas son un factor muy importante que ha sido correlacionado con propiedades de germinación ya que actúa como recipiente a presión, permitiendo la expansión del almidón.

VII.7.2 Porcentaje de granos sin reventar

Este parámetro va relacionado con el porcentaje de reventado, donde se muestra una diferencia, debido a que el porcentaje de humedad interna y el tiempo en el que se sometió no fue suficiente para que se evapore esa humedad y se ejerza esa presión que ocurre en el explotado de 15 y 20 min, donde si se evapora el porcentaje de humedad y se ejerce esa presión de estallamiento. Pesantes, (2013), reporta que las semillas presentan menor porcentaje de humedad dan mayor volumen de expansión al ser tostados, y esto también se ve relacionado en función del tamaño de la semilla, por lo que, a mayor tamaño de grano o semilla, la expansión será mayor.

VII.7.3 Índice de expansión (IE)

Para el IE se muestra una diferencia, la cual se ve relacionada con el porcentaje de semillas reventadas, mientras que se relaciona negativamente con el número de granos sin reventar, además de que el volumen final del explotado se ve relacionado negativamente con el frijol de 5 min. De acuerdo con los reportado por Mishra *et al.*, (2014) las características físicas como el peso hectolitrico influye considerablemente en el índice de expansión. Pesantes, (2013) mencionan que son

los genotipos que presentan mayor porcentaje de expansión son los considerados de mayor potencialidad industrial.

Los resultados de este trabajo sugieren que en el frijol reventón, el peso hectolitrico es un parámetro físico que afecta positivamente al atributo del frijol a la hora de la expansión.

VII.8 Dureza del explotado de frijol reventón.

La dureza de los granos y semillas es uno de los parámetros más importantes para su uso final, esto define el tipo de procesamiento y producto al que será destinado (Gaytan-Martinez *et al.*, 2006).

En cuanto a la dureza del explotado, el explotado mostrò diferencias significativas en los tiempos, esto debido a que se relaciona inversamente con la absorción de agua que ocurre a la hora de la cocción y al tiempo en el que se expusieron al tratamiento por el aire forzado, donde el explotado de 5 min. fue el que tuvo menor dureza y el explotado de 20 min fue el que tuvo la mayor dureza. Mishra *et al.*, (2015) reportan para granos un intervalo de dureza después de un tratamiento térmico de 5.79 N a 9.68 N, la cual se relaciona inversamente con la absorción de agua y al tiempo en el que se expusieron al tratamiento por el aire forzado. Cabrera- Ramirez *et al.*, (2020) informan que la dureza de granos y semillas también puede relacionarse a otros factores de genética para cada variedad, así como a la composición química del mismo. Debido a que las variedades con mayores porcentajes en lípidos, proteínas y carbohidratos, presentaron los mayores índices de dureza.

Cuadro 16. Dureza del explotado de frijol reventón

Tiempo mm/s	Dureza (N)
5 minutos	3.40 ± 0.42 ^a
15 minutos	6.26 ± 1.57 ^b
20 minutos	9.00 ± 3.75 ^c

Los datos se expresan como la media ± la desviación estándar, las letras representan diferencias estadísticas entre las filas por la prueba Tukey ($\alpha=0.05$).

VII.9 Composición química del explotado de del frijol reventón.

El proceso de cocción en las semillas de frijol, un tipo de tratamiento térmico puede dar efectos diferentes en el contenido de proteínas, lípidos, cenizas y carbohidratos.

El Cuadro 17 muestra la composición química del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad reventón y explotado del frijol reventón. Para el contenido de proteína no se presentó ninguna diferencia significativa. En cuanto al porcentaje de lípidos tampoco se reporta una diferencia significativa, sin embargo, se nota una ligera oxidación lipídica, nos damos cuenta por el tipo de coloración que ocurre cuando la semilla de frijol se somete a temperaturas y humedades altas (Le Bourvellec *et al.*, 2015).

Para cenizas tampoco se muestra una diferencia, pero se muestra una ligera disminución. Garcia- Alanis *et al.*, (2019) mencionan que durante el proceso de cocción de algunas leguminosas como el frijol existe una pérdida de minerales solubles a la hora de la cocción. En humedad se reportó una diferencia significativa de igual manera se debe a las altas temperaturas en las que se sometió la semilla. Se ha reportado un rango de humedad de 7.55 a 9.30% para botanas. Este rango

influye en características sensoriales como: crujencia y crocancia, atributos deseables, por el porcentaje obtenido este trabajo se encuentra dentro de ese rango (Cruz-Villegas *et al.*, 2016).

Los carbohidratos presentaron una diferencia, probablemente reflejo de la pérdida de carbohidratos solubles, entre ellos los oligosacáridos causantes de flatulencias que se llegan a solubilizar en el agua a la hora de la cocción (García- Alanis *et al.*, 2019).

Cuadro 17. Composición química del frijol crudo reventón y explotado de del frijol reventón.

Composición	Frijol crudo	Frijol explotado
Proteínas	21.91 ± 0. 25 ^a	20.89 ± 0.06 ^a
Lípidos	1.41 ± 0. 22 ^a	1.39 ± 0. 44 ^a
Humedad	9.57 ± 0.03 ^a	8.38 ± 0.06 ^b
Cenizas	4.66 ± 0. 29 ^a	4.49 ± 0. 10 ^a
Carbohidratos¹	62.45 ± 0. 2 ^a	64.85 ± 0.4 ^b

Los datos se expresan como la media y la ± desviación estándar de dos materiales diferentes, letras representan diferencias estadísticas por renglón por la prueba Tukey ($\alpha=0.05$). La composición química está expresada en (%).

¹Carbohidratos por diferencia.

VII.9.1 Fibra dietaría del explotado de frijol reventón

En el Cuadro 18 se puede observar que hubo una diferencia significativa, donde hubo un aumento en FDI, FDS y FDT. Estos resultados permiten ver aspectos importantes en semillas sometidas a tratamientos térmicos y uno de ellos es que constituye una importante fuente de FDI lo que puede beneficiar al consumidor de esta leguminosa así de la forma explotada. El incremento de FDT en semillas de frijol procesados de manera térmica, fue descrito hace más de una década (Ranjontra *et al.*, 2001). Se observó un incremento de casi el 11% en el contenido de FDT, en comparación de la semilla sin tratamiento térmico. En las semillas de frijol reventón predominó la FDS. Saura-Calixto *et al.*, (2014), mencionan que la retrogradación de los almidones se debe a los puentes de hidrógeno que se establecen en las cadenas de amilosa y proteínas, taninos y proteínas, que se establecen después de su cocción que causan aumento en la fibra dietaría total. Esto podría explicar el aumento en el explotado, sin embargo, habría que estudiar la composición química de la FDT después del proceso de cocción. Aunado a esto, el contenido de lípidos presentes, el aumento de la FDT no se puede explicar por la interacción lípidos y carbohidratos, sino que el tratamiento de cocción convencional promueve otro tipo de interacción que aumenta el contenido de polisacáridos no almidones y propicia a la formación de los almidones modificados que son capaces de resistir la acción enzimática y por consecuencia aumenta el contenido de FDI y FDT.

Cuadro 18. Contenido de fibra total, soluble e insoluble en la semilla de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad reventón

Composición	Frijol reventón	Frijol explotado
Fibra Dietaria		
Total ¹	25.60 ± 0.85 ^b	36.6 ± 0.42 ^a
Soluble	10.33 ± 0.56 ^b	16.32 ± 0.31 ^a
Insoluble	15.33 ± 0.82 ^b	20.28 ± 0.39 ^a

Los datos se expresan como la media ± la desviación estándar de dos materiales diferentes, las letras representan diferencias estadísticas por renglón por la prueba Tukey ($\alpha=0.05$). Los resultados están expresados en porcentaje (%).

¹ Fibra dietaria total se determinó por la sumatoria de fibra soluble e insoluble.

VII.9.2 Contenido de almidón del explotado de frijol reventón

La determinación del almidón resistente en los explotados de la semilla se realizó como ya se había mencionado antes a diferentes condiciones, sin embargo, se realizó en las condiciones del tiempo de 15 min para conocer el cambio de almidón resistente después del explotado por el método de aire caliente (Cuadro 19).

Cuadro 19. Contenido de almidón del explotado en frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad reventón.

Composición	Frijol reventón	Frijol explotado
Almidón		
Total	47.40 ± 1.45 ^a	47.99 ± 2.31 ^a
Resistente	16.93 ± 1.16 ^a	12.90 ± 0.32 ^b
Disponible	21.22 ± 0.82 ^b	24.20 ± 0.22 ^a
Digestibilidad de carbohidratos	44.76 ± 1.18 ^b	50.42 ± 1.92 ^a

Los datos se expresan como la media ± la desviación estándar de tres experimentos independientes, letras representan diferencias estadísticas entre renglones por la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).

Los resultados están expresados en porcentaje (%).

¹Fibra total se determinan por la sumatoria de fibra soluble e insoluble.

En los resultados obtenidos para contenido de almidón resistente, después del explotado, se puede observar una diferencia significativa, donde se muestra una disminución, al igual que el porcentaje de fenoles, taninos y flavonoides, lo que puede asociarse principalmente a la degradación por las altas temperaturas. Ya que como se había mencionado antes el almidón resistente puede verse influenciado por la interacción de proteínas, lípidos y compuestos nutraceuticos. Sin embargo, a pesar del decremento del almidón resistente, respecto a otras variedades *Phaseolus vulgaris* L. estudiadas, se puede considerar como una buena fuente de almidón resistente con lo ya reportado por Sanchez *et al.*, (2018), que reporta un porcentaje de 12.47%.

Para almidón disponible se mostró una diferencia, donde hubo un incremento del almidon disponible (AD) despues del proceso de cocci3n con un porcentaje de 24.20%. Vargas-Torres *et al.*, (2006), reportaron un rango de (21.7- 32.27%) de AD despues de un tratamiento térmico, esto depende de cada variedad, después de la

cocción y enfriarse los frijoles comienza la retrogradación del almidón, esto produce una menor accesibilidad de las amilasas y una menor hidrólisis del polisacárido. Sin embargo en el almidón total (AT) no hubo diferencia significativa. Vargas-Torres *et al.*, (2006), evaluaron distintas variedades y reportaron un rango de 34.70-42.81%, considerado un buen porcentaje de carbohidratos.

En la digestibilidad de carbohidratos se presentó una diferencia, donde el explotado presenta mayor porcentaje ya que se relaciona con el almidón resistente y total.

VII.10 Composición nutraceútica del explotado de del frijol reventón.

En cuanto a la composición nutraceútica del frijol explotado, se puede observar una diferencia significativa en fenoles, presentando una disminución del 53.9%. Estudios realizados en diferentes variedades de *Phaseolus vulgaris* L. presentan contenidos de compuestos fenólicos que oscilan de 1.91 a 5.66 mg EAG/g en frijol crudo y valores de 0.68 a 3.47 mg EAG/g en frijol cocido, sin embargo, después del cocimiento disminuyen más de la mitad estos compuestos (Perez- Perez *et al.*, 2019). Huber *et al.*, (2016) ha mencionado que el frijol cocido disminuye del 72 al 90% su contenido fenólico por el efecto de lixiviación, donde a mayor temperatura mayor es el efecto, también menciona que la cocción aumenta la concentración del contenido fenólico. La Farga *et al.*, (2019) mencionan un aumento se debe a una mayor extracción causada principalmente por la ruptura celular durante el proceso de cocción, sin embargo, también puede atribuirse al tratamiento térmico, remojo, condiciones ambientales y de almacenamiento y a los genotipos.

Por otro lado, también se observa una pérdida de flavonoides, cantidad un poco baja debido a que son un subgrupo de compuestos fenólicos. Los frijoles que reciben un tratamiento térmico pierden algunos pigmentos naturales. Diversos autores han reportado que la pérdida de compuestos fenólicos durante el tratamiento es del 4.1%, mientras que La Farga *et al.* (2019) reporta un rango de 0.21 a 3.70 mg eq. rutina/g en frijoles que han recibido un tratamiento térmico, por lo que nuestro frijol se ve un poco afectado en la coloración, sin embargo, se sigue manteniendo dentro del intervalo para tener una buena composición de nutraceútica.

Cuadro 20. Composición nutracéutica del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad reventón y explotado de del frijol reventón.

Composición	Frijol crudo	Frijol explotado
Fenoles Totales¹	1.13 ± 0. 10 ^a	0.61 ± 0.14 ^b
Flavonoides²	0.81 ± 0.06 ^a	0.70 ± 0.20 ^b
Taninos condensados³	1.89 ± 0. 27 ^a	0.45 ± 0.27 ^b

Cada valor representa la media y la ± desviación estándar de 3 réplicas, las letras representan diferencias estadísticas entre renglones por la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).¹

¹mg. eq. de ácido gálico/ g de muestra seca.

² mg. eq. de rutina/ g de muestra seca.

³ mg. Eq. (+) catequina /g de muestra seca.

Para taninos condensados, la diferencia puede deberse a la temperatura- tiempo en la que se sometieron los frijoles. Melo *et al.*, (2010) presentan valores de 0.71- 5.42 mg. Eq. Catequina en variedades de frijol reventón, cantidades bajas, lo cual indica que se tiene un buen porcentaje de digestibilidad.

VII. 11 Capacidad antioxidante del explotado de frijol reventón

En el Cuadro 22 se puede observar la capacidad antioxidante del frijol reventón antes y después explotado, donde se ve una ligera disminución en la inhibición de los radicales DPPH y ABTS. Este comportamiento similar se puede atribuir a la retención de los compuestos bioactivos después del cocimiento, el cual presenta una adecuada cantidad de antioxidantes para una dieta saludable. Salas *et al.*, (2016), mencionan que el remojo de las semillas de frijol antes de un proceso de cocción promueve la disminución de la capacidad de inhibir el radical DPPH con respecto a la semilla cruda. En cuanto a la pérdida de la inhibición de DPPH en el presente trabajo respecto al frijol crudo también puede deberse a la liberación de antioxidantes solubles en la composición de agua o ruptura en la estructura de los antioxidantes. Salas *et al.* (2016) reportaron un intervalo para semillas de frijol después de un proceso de cocción de IC₅₀ 32.37- 78.43 mg/mL. Por otro lado en el

ensayo de ABTS también se ve una disminución, esta pérdida puede deberse a que el poder antioxidante sobresaliente en variedades con testa negra, en este caso la semilla es pinta por lo que se puede justificar que ocurren transformaciones químicas, de compuestos fenolicos y formación de complejos entre poliofenoles y otras sustancias.

Cuadro 21. Capacidad antioxidante de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.)

Radical	Frijol reventón	Frijol explotado
DPPH ¹	1.799 ± 0.1 ^a	1.45 ± 0.2 ^b
ABTS ¹	5.62 ± 0.41 ^a	4.78 ± 0.37 ^b

Cada valor representa la media y la \pm desviación estándar de 3 réplicas ¹(μ moles eq. de trolox/ g de muestra seca). Las letras representan diferencias estadísticas entre renglones por la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).

VII.12 Digestibilidad *in vitro* de proteínas en el explotado del frijol reventón

En el Cuadro 22 se puede observar una diferencia significativa en la digestibilidad *in vitro* de proteínas donde se puede observar un incremento de 69.21% para el frijol después de un proceso térmico. Se ha reportado que el incrementó de la digestibilidad del frijol reventón después de un proceso de cocción es del 8 al 12% en relación al frijol crudo mientras que otras solo mejoraron su digestibilidad en 3-4% (Celada *et al.*, 2017). Aunado a lo anterior se ha asociado al explotado de la semilla que expone a la matriz de proteína donde la hace más accesible al proceso térmico e induce a cambios morfológicos en el almidón, formando almidón resistentes, sin embargo aún no se han establecido los parámetros para el tratamiento de explotado.

Cuadro 22. Digestibilidad *in vitro* de proteínas en el explotado del frijol reventón

Composición	Frijol reventón	Frijol explotado
Digestibilidad <i>in vitro</i> de proteínas ¹	64.38 ± 0.43 ^a	69.21 ± 0.45 ^b

Cada valor representa la media y la ± desviación estándar de 3 réplicas.

Las letras representan diferencias estadísticas entre renglones por la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$).

¹ Expresado en porcentaje (%).

VIII Pruebas microbiológicas

El Cuadro 23 muestra los resultados de la carga bacteriana en los explotados en mesófilos aerobios (BMA), bacterias coliformes totales, y hongos y levaduras. Es de importancia resaltar que las determinaciones se realizaron por un laboratorio de control y análisis microbiológico de alimentos. Todos los resultados entran de acuerdo con lo establecido en la NOM-091-SSA1-1994- NOM-147-SSA, por lo que fueron aptas para el consumo humano.

Cuadro 23. Pruebas microbiológicas

Muestra	BMA (UFC/g)	Bacterias Coliformes Totales (UFC/g)	Hongos y Levaduras (UFC/g)
Harina de explotado de frijol reventón	0	<10	<10

Referencia:

BMA (UFC/g) = 100,000 UFC/g

Bacterias Coliformes Totales (UFC/g) = 100 UFC/g

Hongos y Levaduras (UFC/g) = 1000 UFC/g

CONCLUSIONES

El presente trabajo reporta que el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad reventón de acuerdo a su caracterización física, así como un buen peso de mil granos (PMG) de 605.4 ± 3.16 g, se sugiere que entra dentro de grano apto para ser reventado, propiedades que pudiesen ser aprovechadas en la industria alimentaria. En lo referente a la composición tiene un buen contenido de proteínas 21.91 ± 0.25 % y un bajo contenido de lípidos 1.41 ± 0.22 %, esto puede beneficiar al consumidor de esta leguminosa de forma explotada, ya que puede contribuir a ser una opción saludable frente a otros productos como las frituras de papa o palomitas de maíz.

En el volumen del explotado se observó una diferencia, debido a que el tiempo de 5 min no fue suficiente para la expansión. Cabe mencionar que la testa en las semillas juega un papel muy importante al estar correlacionado con propiedades de germinación permitiendo la expansión del almidón.

El mejor tratamiento fue el de 15 min, donde se ve reflejado que el tiempo en que se sometió fue suficiente para que se evapore ese porcentaje de humedad y ejerza esa presión de estallamiento. Otra característica importante es que es una fuente importante de fibra dietaria insoluble y soluble 20.28 ± 0.39 y 16.32 ± 0.31 %, respectivamente.

En cuanto a la composición nutraceútica existe una disminución de pigmentos naturales debido al tratamiento térmico utilizado. Sin embargo, se siguen manteniendo dentro del intervalo para tener una buena composición nutraceútica. Por otro lado, otra característica importante fue el contenido de fibra y de almidón resistente obtenido, que puede beneficiar al consumidor de esta leguminosa de forma explotada.

Hasta el momento el explotado de frijol reventón, presenta características adecuadas para ser utilizado como un explotado, principalmente por su habilidad de expansión.

BIBLIOGRAFÍA

AACC International. Approved Methods of Analysis, 11th Ed. Method 44.19. Moisture- Air-Oven Method, Dryng at 135°. Approved 2000. AACC International, ST. Paul, Mn, USA.

Aparicio-Fernández, X., & Espinosa-Alonso, G. (2007). El consumo de leguminosas y sus efectos sobre la salud. *Mujer en la Ciencia*. 42:286:54-59. www.Cienciaydesarrollo.mx/?p=articulo&id=198.

Bakoyiannis. I., Daskalopoulou. A., Pergialiotis. V., Perrea. D. (2019). Fitoquímicos y salud cognitiva ¿Los flavonoides están haciendo el truco? *Biomedicina y farmacoterapia*, Volumén 109, Páginas 1488-1497, ISSN 0753- 3322.

Bernabé A., A. (2004). Respuesta del frijol a la fertilización foliar y densidad de población en rendimiento y calidad de semillas. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Programa de Semillas. Montecillo, Texcoco, Estado de México. México. 154 p.

Cardador., Y. Martínez. (2020). Effect of instant controlled pressure-drop on the non-nutritional compounds of seeds and sprouts of common black bean (*Phaseolus vulgaris* L.). 25 (6): 1464. Doi: 10.3390 .

Campos-Segura, M. Betancur- Ancona, D., & Chel Guerrero, L. (2013). Proteínas y péptidos biológicamente activos con potencial nutracéutico. En M. Segura Campos, Chel Guerrero & D. Betancur Ancona (Eds.), *Bioactividad de péptidos derivados de proteínas alimentarias* (pp. 11-27). Barcelona: OmniaScience.

Celada, S. (2017). “Evaluación de la capacidad antiinflamatoria del extracto de fermentación de la fracción no digerible de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) cocido en macrófagos murinos”. (Tesis de Posgrado). Universidad Autónoma de Querétaro. <http://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/1164>.

Chen P. X., Bozzo G.G., Freixas-Coutin J.A., Marccone M. F., Pauls P. K., Tang Y., Zhang B., Liu R. and Tsao R. (2015). Free and conjugated phenolic compounds and

their antioxidant activities in regular and nondarkening cranberry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seed coats. *Journal of Functional Foods*. 18: 1756-4646.

Chinedum, E., Sanni, S., Theresa, N., & Ebere, A. (2018). Effect of domestic cooking on the starch digestibility, predicted glycemic indices, polyphenol contents and alpha amylase inhibitory properties of beans (*Phaseolis vulgaris*) and breadfruit (*Treculia africana*). *International Journal of Biological Macromolecules*, 106, 200–206.

CONABIO, Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. (2016) http://www.conabio.gob.mx/conocimiento/bioseguridad/pdf/21059_sg7.pdf.

Cruz-Vázquez, José Miguel Rangel-Silva¹, Zoila Nieto-Villalobos, Rolando Salvador García. (2016). Tecnologías más limpias aplicadas al aprovechamiento integral de los cultivos agrícolas: aumento al valor agregado de semillas de sorgo (*Sorghum bicolor*) usando una tecnología prehispánica. *Revista Latinoamericana el Ambiente y las Ciencias*.

Cruz-Requena. M., Escobedo-García. S., Salas-Tovar. J.A., Mora- Cura. Y. (2017) Definitions and Regulatory Perspectives of Dietary Fibers. *Journal of Food and Drug Analysis*, 25, 37-42.

Cruz, J., Camarena, F., Baudoin, J., Huaranga, A. & Blas, R. (2009). Evaluación agromorfológica y caracterización molecular de la ñuña (*Phaseolus vulgaris* L.). *Idesia (Arica)*, 27(1), 29-40. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292009000100005>.

Cruz-Villegas, R., Hernández-Uribe, J.P. y Güemes-Vera N. (2016). Caracterización físico-química de botanas horneadas por radiación de microondas a partir de harinas de chayotextle (*Sechium edule*) y papa dulce (*Ipomoea batatas*). *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*. Vol. 1, No.1 (2016) 658-662.

Dai, F. G. y Chau, C. F. (2017). Classification and regulatory perspectives of dietary fiber. *Journal of Food and Drug Analysis* 25(1), pp. 37-42. doi: 10.1016/j.jfda.2016.09.006.

Denih, Y. (2016). Compuestos fenólicos y actividad antioxidante en testa y grano de 54 poblaciones nativas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L) (Tesis de Posgrado). Universidad Veracruzana.

Deshpande and Cheyran, (1987). Interactions with 8- Anilinonaphthalene-1-Sulfonic Acid (ANS) and Surface Hydrophobicity of Black Gram (*Vigna Mungo*) *Phaseolin*, 1-9. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14204>.

Díaz-Vázquez, I., Francisco Valdez González, Hervey Rodríguez González. (2019). Efecto del descascarillado y endurecimiento de frijol (*Phaseolus vulgaris*) en digestibilidad y antinutrientes en dietas para tilapia (*Oreochromis niloticus*). Universidad Autónoma de Nayarit. Volumen 5, No. 9 ISSN: 2395-8944.

Elizalde, A., Pismag-Portilla, &., Chaparro, C. (2010). Antinutritional factors in eatable seeds. *Rev.bio.agro.vol.7*, n.1, pp.45-54.

Enjamio-Perales, L., Rodriguez Alonso, P., Valero Gaspar, T., Ruiz Moreno, E., Ávila Torres, J. y Varela Moreiras, G. (2017). Informe sobre Legumbres, Nutrición y Salud (Adaptado al Reglamento relativo a las declaraciones nutricionales y de propiedades saludables en los alimentos). Fundación Española de la Nutrición (FEN).

Espinoza-García., R. Martínez- Martínez (2016). Mineral content in seeds of native populations of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.).

Espinosa-Perez, Esteli N. et al. Clasificación de poblaciones nativas de frijol común del centro-sur de México por morfología de semilla. *Rev. fitotec. mex*[online]. 2015, vol.38, n.1 [citado 2021-08-11], pp.29-38. Disponible en:<http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802015000100005&lng=es&nrm=iso>. ISSN 0187-7380.

FAO, Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (2017) <http://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/>.

FAO, Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura (2016) <https://www.fao.org/3/i5528s/i5528s.pdf>.

Fernández A.C., Nishida W., Da Costa Proenca R.P. (2010). Influence of soaking on the nutrition quality of common bean (*Phaseolus vulgaris*) cooked with or without the soaking water: a review. *International Journal of Food Science and Technology* 45:2209-2218.

FIRA, Fideicomisos instituidos en relación con la agricultura. (2017). Panorama Agroalimentario, dirección de investigación y evaluación económica y sectorial, frijol. En sitio web: <https://www.fira.gob.mx/Nd/index.jsp>.

Fregoso. (2020). La guerra por las palomitas de maíz, otra batalla entre México y Estados Unidos. Infobae. Diario digital argentino de actualidad y economía. <https://www.infobae.com/america/mexico>.

Fukamoto LR and Mazza G. (2000). Assessing antioxidant and prooxidant activities of phenolic compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*; 48: 3597-3604. 1996: 207-220.

Gallegos-Infante, J. A. Iniesta-González, J.J., Ibarra-Pérez, J.A. Rocha-Guzmán N.E. (2014). Antinutritional factors and antioxidant activity in improved varieties of common bean (*Phaseolus vulgaris*) *Agronomy Journal* 44:2.

García-Alanís K. G., Báez-González J. B. , Gallardo-Rivera C. T. , García-Solano N. F. , Walle-Castro A. V., Martínez-García M. K. , Hernández-Cortés N. A. (2019). Caracterización Físicoquímica y efecto de la cocción en propiedades nutricionales del frijol *Vigna umbellata* Thumb. Universidad Autónoma de Nuevo León, Facultad de Ciencias Biológicas. Vol. 4.

Gayatri Mishra DC, Joshi and Brajesh Kumar Panda. (2014). Popping and Puffing of Cereal Grains: A Review. *Diario de procesamiento y almacenamiento de granos*, 1 (2): 34-46.

Gaytan-Martinez, M., Figueroa-Cárdenas, J.D., Reyes-Vega, M. L., Rincon-Sánchez, F., Morales-Sanchez, E., 2006. Microstructure of starch granule related to kernel hardness in corn. *Rev. Fitotec. Mex.* 29, 1–8.

Girard, A.L., Awika, J.M., 2018. Sorghum polyphenols and other bioactive components as functional and health promoting food ingredients. *J. Cereal Sci.* 84, 112–124. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.10.009>.

González, J. J. F., Maldonado, S. H. G., y Hernández, M. G. H. (2015). Nutritional and nutraceutical attribute of loaf and bars made of bean (*Phaseolus vulgaris L.*) FLOUR. *Biotecnia*, 17(3), 9-14.

González M. Ana., J. Fernando., Yuste-Lisbona. (2018). Mejora de variedades ancestrales de leguminosas y cereales para el desarrollo de snacks. *Revista: Grandes Cultivos*. Centro de Investigación en Biotecnología Agroalimentaria (BITAL), Universidad de Almería.

Godoy Marrero S, B., Adashi E, Y., Eindem M, D. (2015). Noncommunicable diseases. *Thieme; Semin Reprod Med*; 33(01): 035-040. DOI: 10.1055/s-0034-1395277.

Gómez., P. (2013). Obtención de productos directamente expandidos por extrusión y botanas de 3ª. generación a base de chía y almidón de maíz resistente AR4. (Tesis de Posgrado). Universidad Veracruzana Instituto de Ciencias Básicas.

Heliodoro, J. C. A., Pivetta, M. R., Zanutto, M R., Novelli, P. K., Francisco, V. C. B. (2018). *Applications. Food Control and Biosecurity*. Elsevier.

Heredia Laura. (2017). Caracterización fisicoquímica y de compuestos bioactivos del frijol tepari (*Phaseolus acutifolius gray*) (Tesis de Posgrado). Universidad Autónoma de Nuevo León facultad de salud pública y nutrición.

Hernández-López, V., Vargas-Vázquez, L., Muruaga-Martínez, J., Hernández-Delgado, S., Mayek-Pérez, N. (2013). Origin, domestication and diversification of common beans. *Revista Fitotecnia mexicana*. vol.36, n.2, pp.95-104.

Herrera Oscar. (2016). Efecto antioxidante y antitumoral in vitro del extracto etanólico de la raíz de *Waltheria ovata Cav.* "lucraco" en línea celular de cáncer de próstata DU-145. Universidad mayor de San Marcos. DOI: 10.13140/RG.2.1.3673.0486.

Hurtado, C. A., Rodríguez, Q. E., Díaz, P. Y. (2017). Utilización de diferentes bioproductos en la producción de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Agrotecnia de Cuba*. 41 (1): 17- 24.

Huber, K. 2016. Phenolic Acid, Flavonoids and Antioxidant Activity of Common Brown Beans (*Phaseolus vulgaris* L.) Before and After Cooking. *Journal of Nutrition & Food Sciences*. 6(5): 1-7.

INIA. (2017). Instituto de Investigaciones Agropecuarias. <https://hdl.handle.net/20.500.12955/794>

La Farga, T., Villaro, S., Bobo, G., Simo, J., Agullo-Aguallo, I. 2019. Bioaccessibility and antioxidant activity of phenolic compounds in cooked pulses. *Food Science Technology*. 1-8.

Le Bourvellec, C., Bureau, S., Renard, C. M., Plenet, D., Gautier, H., Touloumet, L., & Simon, S. (2015). Cultivar and year rather than agricultural practices affect primary and secondary metabolites in apple fruit. *PLoS one*, 10(11), e0141916.

Liu K. (1997). Storage proteins and hard-to-cook phenomenon in legume seeds. *Food Technol*; 51:58, 60-61.

Lo Turco, V., Potortì, A. G., Rando, R., Ravenda, P., Dugo, G., & Di Bella, G. (2016). Functional properties and fatty acids profile of different beans varieties. *Natural Product Research*, 1–6.

Luna-Vital, D. A., Mojica, L., González de Mejía, E., Mendoza, S., & Loarca-Piña, G. (2015). Biological potential of protein hydrolysates and peptides from common bean (*Phaseolus Vulgaris* L.): A review. *Food Research International*, 76(P1). 39-50.

Marmolejo, J. (2018). Variabilidad genética del frijol común tipo ñuña (*Phaseolus vulgaris* L.) en las localidades de Carhuaz y Chiquián, Ancash. Universidad Nacional Agraria La Molina. URI: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3398>.

Mateos-Aparicio, I., Mateos-Peinado, C., & Rupérez, P. (2010). High hydrostatic pressure improves the functionality of dietary fibre in okara by-product from soybean. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 11(3), 445–450.

Menéndez- Díaz, J.A., Hernández-Moreno, S. (2017). Aplicaciones industriales del calentamiento con energía microondas. Latacunga, Ecuador: Editorial Universidad Técnica de Cotopaxi, Primera Edición, pp 315. ISBN: 978-9978- 395-34-9.

Melo, A. & Ligarreto, G. Tannin content of seed and agronomic characteristics in cultivars of common “popping” vean. Departamento de Agronomía, Facultad de Agronomía, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá 28(2), 147-154. pp. 147-154

Miranda-Villa., Yesid A. (2013). Caracterización funcional del almidón del frijol y su cuantificación de almidón resistente. Facultad de Ingeniería, Fundación Universitaria Agraria de Colombia.

Mirza, N., Sharma, N. Srivastava, S. (2015). Variation in Popping Quality Related to Physical, Biochemical and Nutritional Properties of Finger Millet Genotypes. *The National Academy of Sciences*, India 85(2):507–515. DOI 10.1007/s40011-014-0384-x.

Mishra, G., Joshi, D.C., Kumar Panda, B., 2014. Popping and Puffing of Cereal Grains: A Review. *J. Grain Process. Storage* 1, 34–46.
<https://doi.org/10.1111/j.1399-6576.1996.tb05571.x>

Mishra, G., Joshi, D.C., Mohapatra, D., Babu, V.B., 2015. Varietal influence on the microwave popping characteristics of sorghum. *J. Cereal. Sci.* 65, 19–24. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2015.06.001>. Narvaez-González, E.D., Figueroa-Cardenas.

Morales-Santos, Martha E. (2017). Características físicas y de germinación en semillas y plántulas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) silvestre, domesticado y su progenie. *Agrociencia*. vol.51, n. 1, pp.43-62. <http://www.scielo.org.mx>.

Mujica y Marisela Granito. (2015). Cambios microestructurales en los granos de *Phaseolus vulgaris* endurecidos. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*.

Nenadis N., Wang LF, Tsimidou M, Zhang HY. 2004. Estimation of scavenging activity of phenolic compounds using the ABTS-+ assay. *J Agr Food Chem* 52: 4669 – 4674.

Norma Mexicana NOM-113-SSA1-1994, Bienes y servicios. método para la cuenta de microorganismos coliformes totales en placa.

Norma Mexicana NOM-114-SSA1-1994, Bienes y servicios. Método para la determinación de salmonella en alimentos.

Norma Mexicana NOM-216-SSA1-2002, Proyecto de norma oficial mexicana, productos y servicios. Botanas. Especificaciones sanitarias. Métodos de prueba.

Nikmaram, N., Ying, S., Koubaa, M., Zhu, Z. (2017). Effect of extrusion on the anti-nutritional factors of food products: An overview. *Food Control*, 79, 62-73. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.03.027>.

Oomah D, Cardador-Martínez A, Loarca-Piña G. (2005). Phenolics and antioxidative activities in common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Sci Food Agric*; 85:935-94.

Otálora, J., Ligarreto, G., Romero, A. (2009). Agronomic characteristics and grain quality of the common 'popping' bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Agronomía Colombiana*. URI: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3398>.

Öztürk, S., Mutlu, S., 2019. Physicochemical Properties, Modifications, and Applications of Resistant Starches, *Starches for Food Application*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809440-2.00008-3>.

Pérez-Perez, Liliana Maribel, Toro Sánchez, Carmen Lizette Del, Sánchez Chavez, Esteban, González Vega, Ricardo Iván, Reyes Díaz, Aline, Borboa Flores, Jesús, Soto Parra, Juan Manuel, & Flores-Cordova, María Antonia. (2020). Bioaccesibilidad de compuestos antioxidantes de diferentes variedades de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) en México, mediante un sistema gastrointestinal in vitro. *Biotechnia*, 22(1), 117-125. Epub 03 de agosto de 2020. <https://doi.org/10.18633/biotechnia.v22i1.1159>.

Pesantes V. M.; Rodríguez S. J. (2013). Caracterización y evaluación de la variabilidad de doce colectas de *Phaseolus vulgaris* L. tipo reventon procedente de

la provincia de Santiago de Chuco (Perú). Revista Científica de la Facultad de Ciencias Biológicas. Universidad Nacional de Trujillo. Trujillo. Perú. 88 – 90 p.

Preiss, J., 2017. Plant Starch Synthesis, Starch in Food: Structure, Function and Applications: Second Edition. Elsevier Ltd.

Ranjontra G and Gelroth J. (2001). Soluble and total dietary fiber in White bread. Am Assoc Cereal Chem. 1988;65;2:155.

www.scielo/htdocs/class.XSLTransformerPHP5.php en la línea 29.

Ratnavathi, C.V., 2018. Grain Structure, Quality, and Nutrition. Breed. Sorghum Divers. End Uses 193–207. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-101879-8.00012-7>

Ramírez-Jiménez. (2010). Elaboración y evaluación del valor nutrimental, nutraceútico y sensorial de una barra horneada de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y avena (Avena sativa). <http://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/922>.

Rodríguez, A. (2017). Desarrollo de una botana expandible enriquecida baja en grasa (Tesis de Doctorado). Instituto Politécnico Nacional. Centro de Investigación en Ciencia Aplicada y Tecnología Avanzada.

Ríos- Espinoza, E., Valle- Muñoz, A., Aguilar- Lòpez, T. (2012): El papel de la fibra en las enfermedades crónico-degenerativas. Instituto de nutrición y Salud Kellogg's.

Saura-Calixto F, Goñi I, Bravo L y Mañas E. Formation of resistant starch in deproteinized and no deproteinized beans. Eur J Clin Nutr. 1992;46;2:109s-111s.

Schaich, K. M., Tian, X., & Xie, J. (2015). Hurdles and pitfalls in measuring antioxidant efficacy: a critical evaluation of ABTS, DPPH, and ORAC assays. *Journal of functional foods*, 14, 111-125.

Shiga, T., F. Lajolo y M. Filiseni. 2003. Cell wall polysaccharides of common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Ciência e Tecnologia Alimentos* 23: 141-148.

SIAP. (2016). Producción Agrícola. Avance de siembras y cosechas por cultivo. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <https://www.gob.mx/siap/acciones-programas/produccion-agricola-33119>.

Singh, B., Singh, J. P., Shevkani, K., Singh, N., & Kaur, A. (2016). Bioactive constituents in pulses and their health benefits. *Journal of food science and technology*, 1-13.

Silva, P., Pinheiro, A., Rodríguez. L., Figueroa, V. (2016). Fuentes naturales de fitoesteroles y factores de producción que lo modifican. Departamento de Producción Agrícola, Facultad de Ciencias Agronómicas, Universidad de Chile, Santiago. Ar. *Archivos Latinoamericanos de frijol*.

Smith MR, Veneklaas E., Polania J., Rao IM, Beebe SE, Merchant A. (2019). Las condiciones de sequía en el campo afectan el rendimiento, pero no la calidad nutricional de la semilla del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) PLoS ONE; 14: e0217099. Doi: 10.1371 / journal.pone.0217099.

Suárez-Martínez, S. E., Ferriz-Martínez, R. A., Campos-vega, R., Elton-puente, J. E., De, K., Carbot, T. (2016). Bean seeds: leading nutraceutical source for human health Semillas del frijol: fuente líder de nutraceuticos para la salud humana, F. De Química, 14(1), 131–137.

Ulloa J. A., Rosas M. P., Ramírez J. J. C., Ulloa R. B. E. (2011). Physicochemical characteristics of instant whole bean (*Phaseolus vulgaris*) produced by drying at room temperature. Book of Abstract. IFT Annual Meeting and Food Expo. New Orleans, Louisiana, USA. P. 42.

Vázquez-Flores., Emilio Álvarez-Parrilla., José Alberto López-Díaz. (2012). Taninos hidrolizables y condensados: naturaleza química, ventajas y desventajas de su consumo. *Tecnociencia Chihuahua* 6(2): 84-93.

Vaher, M., Matso, K., Levandi, T., Helmja, K. & Kaljurand, M. (2010). Phenolic compounds and the antioxidant activity of the bran, flour and whole grain of different wheat varieties. *Procedia Chemistry*, 2:76-82.

Veliz, L. (2018). Identificación y Cuantificación de aminoácidos esenciales en *Vigna unguiculata* (frijol castilla) y *Phaseolus vulgaris* (frijol guinda) por Cromatografía Líquida de Alta Performance (HPLC) (Tesis de Doctorado). Facultad de farmacia y

bioquímica escuela académico profesional de farmacia y bioquímica. Universidad Norbert Wiener.

Yao, Y., Hu, Y., Zhu, Y., Gao, Y., Ren, G. (2015). Comparisons of phaseolin type and α -amylase inhibitor in common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in China. *ScienceDirect CJ*, 4(1), 68–72. <https://doi.org/10.1016/j.cj.2015.09.002>.