



Universidad Autónoma de Querétaro

Facultad de Química

“Caracterización química y nutraceútica de raviolos elaborados a base de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.)”

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de

Maestra en Ciencias y Tecnología de Alimentos

Presenta:

I.B.I. Dora Eyra Galván Mondragón

Dirigido por:

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña

Centro Universitario, Santiago de Querétaro, Qro.a febrero 2023.



Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales de
Información



Caracterización química y nutraceútica de raviolos
elaborados a base de frijol común (*Phaseolus vulgaris*
L.)

por

Dora Eyra Galván Mondragón

se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0 Internacional](#).

Clave RI: FQMAC-300232-0323-223



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

“Caracterización química y nutraceútica de ravioles elaborados a base de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.)”

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado

Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos

Presenta

I.B.I. Dora Eyra Galván Mondragón

Dirigido por

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña
Presidente

Dra. Marcela Gaytán Martínez
Secretario

Dr. Iván Luzardo Ocampo
Vocal

Dra. Rocio Campos Vega
Suplente 1

Dra. Montserrat Hernández Iturriaga
Suplente 2

Centro Universitario, Querétaro, Qro.
Febrero 2023
México.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña, directora de este trabajo por su experiencia, tiempo y empeño que dedicó en la dirección de este trabajo. Por la oportunidad de ser parte del Laboratorio de Bioquímica Toxicológica en la Universidad Autónoma de Querétaro.

Además, expreso mi agradecimiento a mi comité, Dra. Marcela Gaytán Martínez, Dra. Rocio Campos Vega, Dra. Monserrat Hernández Iturriaga y Dr. Iván Andrés Luzardo Ocampo por su dedicación, orientación y asesoramiento durante estos dos años.

A CONACyT por la beca otorgada durante la maestría y a la Universidad Autónoma de Querétaro por la aceptación a su programa de posgrado.

A mi hijo Tiamat por su apoyo, por su guía y acompañamiento. Siempre dándome ánimos en los momentos más difíciles en el proceso.

A las personas con las que compartí el día a día en este complejo mundo de la investigación, tengo momentos inolvidables, únicos y compartidos: Patricia Martínez Reyna (mi gran compañera de batallas), Laura Huicochea, Ely Dufoo, Vanessa Sánchez, Adolfo, Issac, Josué, Fernanda Castro, Fernando Rubio y Nemer, gracias por su ánimo, compañía y ayuda que siempre me brindaron, porque nunca me hicieron sentir diferente y nunca vieron mi edad, sino mi alma joven y aventurera. Gracias por su amistad y las grades experiencias vividas.

DEDICATORIA

A Dios por su guía y fuerza.

A mis hijos Tiamat, Iris, Jaya y Bonnie por su amor y apoyo incondicional durante mi faceta de estudiante, que hicieron que fuera más fácil esta aventura llamada Maestría. Mi amor incondicional y agradecimiento infinito.

A la memoria de mis padres Carmela Mondragón Ríos y J. Refugio Galván Durón.

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD DE ESTUDIANTE.

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

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

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Dora Eyra Galván Mondragón', written over a horizontal line.

Dora Eyra Galván Mondragón
Nombre y firma del estudiante

RESUMEN

Las tendencias de la alimentación han cambiado y existe una demanda creciente de alimentos de bajo índice glucémico y libres de gluten, por eso el desarrollo de nuevos productos a base de harinas de leguminosas son una alternativa en la industria alimentaria. El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), es una fuente de proteína y compuestos bioactivos de fácil acceso, sin embargo, su consumo ha disminuido por sus tiempos prolongados de cocción y meteorismo. El objetivo de este trabajo fue caracterizar química y nutracéuticamente raviolos elaborados a base de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.). Las harinas de frijol se obtuvieron por tres métodos de cocción: tradicional, tostado directo y extrusión, usando dos variedades de frijol común (Peruano y Negro), con un tamaño de partícula (250 μm). La caracterización química se realizó para las harinas y los raviolos por los métodos de AOAC (proteínas, lípidos, humedad, cenizas y carbohidratos); la nutracéutica (compuestos fenólicos, capacidad antioxidante: DPPH y ABTS, fibra dietaria) y parámetros fisicoquímicos (color, TPA, solubilidad, absorción de agua y lípidos). Para el método de tostado, el contenido de proteína fue mayor en la variedad peruana (21.1%), mientras que, en el proceso por extrusión, se incrementó el contenido de carbohidratos en la variedad Negro (81.1 %). La cocción tradicional favoreció las características tecnofuncionales de las harinas aumentando el índice de absorción de agua en la variedad Peruano (4 %) y Negro (3.9 %). En cuanto a las propiedades nutracéuticas, la variedad Negro tostado presentó la mayor concentración de fenoles totales (8.33-8.91 mg eq. ácido. gálico/g), flavonoides totales (247-322 μm eq. rutina/g) y capacidad antioxidante (DPPH: 5347 μM eq. Trolox /g; ABTS: 7265.3 μM eq. Trolox /g). En conclusión, las harinas de frijol tostado de las dos variedades tienen el mejor perfil nutracéutico. Sin embargo, presentan poca absorción y mayor solubilidad en agua, impidiendo una adecuada cohesividad para la formación de raviolos. Debido a ello la mejor harina fue la de frijol Negro extrudidas (HFNE) por sus propiedades tecnofuncionales y valor

nutracéutico que favorecieron una estructura firme y resistente a la cocción con un bajo pIG. **Palabras clave:** *Frijol, métodos de cocción, harina, extrudido, raviolos.*

ABSTRACT

Food trends have changed and exist a demand for low-glycemic and gluten-free food. Legume-based food products are new alternatives for the development of gluten-free food. Common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) are protein, dietary fiber, and bioactive compounds source with potential health benefits. The work aimed to formulate ravioli made from common beans (Peruvian and Black varieties) and conduct their chemical and nutraceutical characterization. The flours were obtained using three cooking methods (traditional cooking, roasting and extrusion), and were chemically characterized following the AOAC methods (proteins, lipids, moisture, ashes, and carbohydrates). Additional nutraceutical (DPPH and ABTS antioxidant capacity, and dietary fiber) and physicochemical (color, solubility, and water and oil absorption) characterization were also carried out. Toasted flour exhibited the highest protein content (21.1 % for Peruvian variety), while the extruded flours showed the highest carbohydrates amount (81 %, Black). The traditionally cooked flours favored the techno-functional properties (3.9 and 4.0 % water absorption capacities for Black and Peruvian varieties, respectively). Regarding the nutraceutical properties, the Black toasted flour presented the highest total phenols (8.33-8.91 mg gallic acid equivalents/g) and total flavonoids (247-322 µM Trolox equivalents/g) concentrations. The same variety displayed 5347 and 7265.3 µM Trolox equivalents/g sample for DPPH and ABTS methods, respectively. Results showed that extruded Black bean flours displayed the best features for manufacturing ravioli based on their techno-functional properties and nutraceutical value, favoring a firm texture and cooking resistance and low pIG.

Keywords: Common beans (*Phaseolus vulgaris* L.), fiber, extrusion, ravioli.

ÍNDICE

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
ÍNDICE	3
ÍNDICE DE CUADROS	6
ÍNDICE DE FIGURAS	8
II. ANTECEDENTES	11
II.1 Alimentación, dieta y nutrición en México	11
II.1.1 Enfermedad Celíaca	11
II.1.2 Intolerancia al gluten	13
II.1.3 Veganismo	13
II.2 Frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	14
II.2.1 Generalidades del frijol	14
II.2.3 Consumo en México	18
II.2.4 Composición química del frijol	19
II.2.5 Compuestos bioactivos	22
II.2.6 Factores antinutricios	30
II.3 La pasta	32
II.3.1 Consumo de pastas en México	33
II.3.2 Elaboración de la pasta	34
II.3.3 Características sensoriales y composición química	34
II.3.4 Índice glicémico	37
II.3.5 Pasta de leguminosas	37
II.4 Métodos de cocción	39
II.4.1 Cocción tradicional del frijol	40
II.4.2 Tostado directo a comal	41
II.4.3 Extrusión	42
III. JUSTIFICACIÓN	45
IV. OBJETIVOS	46
IV.1 Objetivo general	46

IV.2 Objetivos Específicos.....	46
V. ESTRATEGIA EXPERIMENTAL	47
VI. MATERIALES Y MÉTODOS	48
VI.1 Materiales	48
VI.1.1 Reactivos	48
VI.1.2 Materia prima	48
VI.1.3 Harina de Frijol	48
VI.2 Métodos.....	50
VI.2.1 Formulación de ravioles y relleno	50
VI.2.2 Relleno de raviol.....	51
VI.2.3 Caracterización química	52
VI. 2.4 Caracterización nutracéutica	55
VI.2.5 Digestibilidad <i>in vitro</i>	59
VI.2.6 Hidrólisis enzimática y predicción del índice glucémico.	61
VI.2.7 Análisis Físicoquímicos	63
VI.2.8 Diseño experimental.....	65
VI.2.9 Análisis microbiológico	68
VI.2.10 Análisis sensorial.....	68
VI.2.11 Análisis estadístico.....	68
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	69
VII.1 Obtención de harinas de frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	69
VII.1.1 Métodos de cocción.....	69
VII.1.2 Parámetros de color de harinas de frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) de las dos variedades.....	72
VII.1.3 Caracterización química de harinas de frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.).....	¡Error! Marcador no definido.
VII.1.4 Caracterización nutracéutica de harinas de frijol común (<i>Phaseolus</i> <i>vulgaris</i> L.) de las dos variedades.....	76
VII.1.5 Parámetros físicoquímicos de harinas de frijol común (<i>Phaseolus</i> <i>vulgaris</i> L.).....	86
VII.2 Formulación del raviol de harinas de frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) de las variedades Peruano y Negro.....	89

VII 2.1 Ingredientes de la formulación de raviolos de frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.).....	89
VII.2.2 Elaboración de raviolos de frijol común de las dos variedades Peruano y Negro.....	91
VII.2.3 Evaluación de textura de raviol de harinas de frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.).....	94
VII.3 Caracterización de raviol de frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) y comparación con un raviol de harina con sémola comercial.	96
VII.3.1 Caracterización química de raviol de harinas de frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) y raviol de harina con sémola comercial.	96
VII.3.2 Caracterización nutracéutica de raviolos de frijol Negro extrudido y raviol de harina de trigo común.....	97
VII.3.3 Predicción del índice glicémico.....	102
VII.3.4 Evaluación microbiológica del raviol de harinas de frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.).....	106
VII.4 Evaluación sensorial del raviol de frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.)	108
VIII. CONCLUSIONES	114
IX BIBLIOGRAFÍA	115
X. ANEXOS.....	148
Anexo 1. Boleta para análisis sensorial discriminative pareada.	148
Anexo 2. Boleta para análisis sensorial.	148
Anexo 3. Consentimiento informado.	150

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Cribado serológico de la enfermedad celíaca en adultos.	12
Cuadro 2. Composición proximal de las clases de las proteínas por la clasificación de Osborne.....	20
Cuadro 3. Composición del frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) crudo variedad bayo Madero.....	21
Cuadro 4. La fibra por su grado de solubilidad.....	25
Cuadro 5. Características de leguminosas.....	28
Cuadro 6. Curva de calibración de glucosa.....	61
Cuadro 7. Diseño experimental para la formulación de raviolos.....	66
Cuadro 8. Métodos de cocción para las dos variedades de frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) peruano y negro.	70
Cuadro 9. Parámetros de color de las harinas de frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) peruano y negro obtenidas por los métodos de cocción.	73
Cuadro 10. Contenido de proteínas, lípidos, cenizas y carbohidratos en harinas de frijol común.	76
Cuadro 11. Compuestos fenólicos libres en muestras de frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) de las variedades peruano y negro.....	79
Cuadro 12. Capacidad antioxidante de las dos variedades de frijol común.....	81
Cuadro 13. Contenido de fibra dietaria total, soluble, insoluble y almidón resistente de harinas de frijol peruano y negro bajo diferentes tratamientos.	84
Cuadro 14. Contenido de almidón total y disponibles (porcentaje) de harinas de frijol peruano y negro bajo diferentes tratamientos.....	85
Cuadro 15. Índice de absorción de agua, índice de solubilidad en agua e índice de absorción de lípidos de harinas de frijol peruano y negro bajo diferentes tratamientos térmicos.	88
Cuadro 16. Ingredientes utilizados para la formulación de raviolos de harinas de frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) de las variedades peruano y negro.....	89
Cuadro 17. Porcentajes de los ingredientes en la formulación de los raviolos de frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) de las variedades peruano y negro.....	90
Cuadro 18. Perfil de textura (TPA) de raviol elaborada a base de frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) negro extrudido y pasta de harina con sémola comercial.	96
Cuadro 19. Contenido de proteínas, Lípidos, Cenizas y Carbohidratos del raviol de harinas de frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) y harina de trigo con sémola comercial.	97
Cuadro 20. Compuestos fenólicos libres en raviol de frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) variedad negro y raviol de harina de trigo con sémola comercial.....	98
Cuadro 21. Capacidad antioxidante en raviol de frijol común negro extrudido y raviol de trigo con sémola comercial.	99

Cuadro 22. Contenido de fibra dietaria total, soluble, insoluble y almidón resistente de raviol de frijol negro extrudido y raviol de harina.	101
Cuadro 23. Contenido de almidón total y disponibles (porcentaje) de raviol de frijol negro extrudido y raviol de harina.	102
Cuadro 24. Índice de hidrólisis (HI) y predicción del índice glucémico (GI) de raviol de frijol negro extrudido y raviol de harina de trigo.	105
Cuadro 25. Evaluación microbiológica de raviol de frijol negro extrudido y raviol de harina de trigo.	107

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Composición del frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) (CIAT, 1984).	15
Figura 2. Componentes en el cotiledón, cascarilla e hilo en el frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.).	16
Figura 3. Semillas de frijol de diferentes colores (FAO, 2021).	17
Figura 4. Estructura molecular de los principales flavonoides presentes en frijol común (Shahidi & Naczki, 2004).	23
Figura 5. Materias primas con alto valor nutricional para la producción de pastas enriquecidas (Di Pede et.al., 2021)	36
Figura 6. Extrusor y sus secciones (Moscicki & Zuilichem, 2011).	44
Figura 7. Estrategia experimental.	47
Figura 8. Harinas de frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) peruano y negro de acuerdo a su proceso de obtención.	71
Figura 9. Raviolos de frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) de las variedades peruano y negro.	92
Figura 10. Raviolos de frijol común (<i>Phaseolus vulgaris</i> L.) cocidos de las variedades peruano y negro.	93
Figura 11. Contenido de almidón total hidrolizado en los raviolos (frijol extrudido y harina de trigo).	103
Figura 12. Evaluación discriminativa de raviolos	108
Figura 13. Evaluación sensorial de escala hedónica de 9 puntos	110

I.INTRODUCCIÓN

Cada año las tendencias de la alimentación cambian, dependiendo de las circunstancias sociales, culturales y económicas. Con la pandemia sin finalizar, se prevé que en muchos hogares cocinen, pero también que se haga la búsqueda de comidas que sean convenientes, cómodas y fáciles de preparar. Aunque la pandemia termine, es probable que muchos de los cambios que esta generó en la alimentación se instauren a largo plazo y permanezca por muchos años (Martínez Lomelí, 2021).

De acuerdo con ENSANUT (2018) el consumo de frutas, verduras, carnes, lácteos y leguminosas se ve influenciado por la edad. Por ejemplo, los adultos presentan los mayores porcentajes del consumo de fruta, verdura, carne y leguminosas con un 49.7, 44.9, 64.6 y 54.1 % respectivamente, mientras que el consumo de lácteos fue mayor en niños con un 65.7 %. Por otra parte, hay un alto consumo de alimentos tales como: cereales dulces, botanas y dulces, bebidas endulzadas y comida rápida, en donde el mayor consumo se reporta en los niños con porcentajes de un 85.7 % para bebidas endulzadas, 64.6 % para botanas y dulces, y 52.9 % para cereales dulces. El consumo de comida rápida fue más alto en el grupo de adolescentes con un 22.9 % (ENSANUT, 2018).

Respecto a la incidencia de padecer enfermedades relacionadas con la intolerancia al gluten, se estima que el 0.9 % de la población mexicana puede tener enfermedad celiaca, estimándose que entre 800,000 y 1,000,000 de personas tienen este padecimiento por lo que pudieran beneficiarse de una dieta libre de gluten (Cobos, Hernández, & Remes, 2017). La incidencia de la enfermedad celiaca diagnosticada es menor y se estima que por cada caso diagnosticado existen de 5-10 casos no diagnosticados. Por esta razón, solo los casos diagnosticados son los visibles.

La enfermedad celíaca puede definirse como una intolerancia permanente a las proteínas de almacenamiento de algunos cereales como el trigo, centeno y cebada, en lo sucesivo denominado "gluten". Las enfermedades celíacas se caracterizan por

un estado inflamatorio crónico de la mucosa del intestino delgado proximal y los efectos de estas condiciones se reducen cuando se excluyen de la dieta alimentos con gluten (Rostorn, Murray, & Kagnoff, 2006). El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es una leguminosa que es reconocida desde hace mucho tiempo como nutritiva debido a su proteína de alta calidad, su densidad de nutrientes (Azarpazhooh & Boye, 2012) y tiene un índice glucémico bajo (Jenkins *et al.*, 1984). Dependiendo de la variedad o el cultivar, el frijol aporta del 16 a 33 % de proteína, vitaminas (tiamina, riboflavina, niacina, vitamina B6 y ácido fólico), minerales (Ca, Fe, Cu, Zn, P, K, Mg), del 14 al 19 % de fibra dietética y ácidos grasos insaturados libres (Reyes-Moreno & Paredes-López, 1993).

La relación entre alimento, nutrición y salud tiene un creciente impacto en la innovación alimentaria y en este sentido el frijol común, por su composición puede ser utilizado para elaborar alimentos libres de gluten. Existen en el mercado alta diversidad de productos enfocados a la población sensibles o intolerantes al gluten, pero se requieren alternativas adicionales que provean características sensoriales novedosas o permitan sustituir alimentos tradicionalmente consumidos, como son los productos a base de harina de trigo por sus equivalentes sin gluten. Este nicho sin ocupar podría dar oportunidad a productos nuevos derivados del frijol, ya que los beneficios nutricionales que tienen los hacen aptos para ser considerados como ingredientes que pueden incorporarse a productos alimenticios como pastas, panes y postres. Los estilos de vida acelerada demandan alimentos preparados de buena calidad y saludables y la pasta es un ejemplo claro de comida versátil y fácil preparación, puesto que se elabora a base de mezclar trigo y agua (Sissons, 2016). El desarrollo de nuevos productos con un enfoque en la nutrición es fundamental para mejorar la calidad de la dieta (Palavencino *et al.*, 2018).

II. ANTECEDENTES

II.1 Alimentación, dieta y nutrición en México

Los grupos de alimentos como las frutas, verduras, cereales, leguminosas, carne y lácteos constituyen una alimentación integral, por su aporte de carbohidratos, grasas, proteínas, vitaminas y minerales siendo indispensables para el funcionamiento corporal y saludable. En la actualidad los problemas en la alimentación y nutrición de los mexicanos ha dado oportunidad al desarrollo de enfermedades crónicas no transmisibles (ENTs) como la obesidad, convirtiéndose en un problema de salud pública abrumadora en México, que no solo afecta la calidad de vida de su población, sino también provoca una carga social y económica (Rivera *et al.*, 2016).

El frijol común tiene una gran tradición, desde los tiempos prehispánicos y presenta amplia diversidad de formas silvestres y cultivadas. Si bien la mayoría se localiza a lo largo de la Sierra Madre Occidental entre 500 y 1800 m de altitud, su cultivo se realiza extensivamente en casi todas las condiciones agroecológicas y sistemas de producción del país (Vidal *et al.*, 2006).

II.1.1 Enfermedad Celíaca

La enfermedad celiaca (EC) es un trastorno sistemático inmunológico crónico provocado por la ingesta de gluten en sujetos genéticamente predispuestos. Esta condición está caracterizada por manifestaciones clínicas dependientes del gluten, anticuerpos contra la EC y daño de la mucosa intestinal (enteropatía) (Sapone *et al.*, 2012; Penagini *et al.*, 2015). Esta enfermedad puede presentarse con síntomas leves a graves, y en ocasiones generar complicaciones graves como: asma, dermatitis atópica, urticaria y anafilaxis (Sapone *et al.*, 2012; Castillejo *et al.*, 2016). “Gluten” es un término general para las proteínas solubles en alcohol presentes en

varios cereales, que incluyen al trigo, centeno, cebada, espelta (*Triticum spelta*) y Kamut (*Triticum turanicum*) (Fasano & Dinu, 2012).

El aumento constante en el número de diagnósticos identificados y pacientes geriátricos han generado cambios significativos en la manera de diagnosticar, la patología y la historia natural de EC (Caio, Tovoli, & De Giorgio, 2013). La prevalencia informada de 0.5 a 1 % de la población, puede visualizarse en la Cuadro 1 con áreas que muestran baja frecuencia de genes de predisposición a la EC y un bajo consumo de gluten con es África, Subsahariana y Japón.

Cuadro 1. Cribado serológico de la enfermedad celíaca en adultos.

Publicaciones	Prueba de anticuerpos de primer nivel	No. de casos	Edad	País	Prevalencia
(Corazza <i>et al.</i> , 1997)	EmA	2237	20-87	Italia	0.18%
(Ivarsson <i>et al.</i> , 2001)	EmA	1894	25-74	Suecia	0.53%
(Riestra, Fernández, Rodrigo, & S, 2000)	EmA	1170	14-89	España	0.26%
(Volta <i>et al.</i> , 2001)	EmA	3483	14-65	Italia	0.57%
(Mustalahti <i>et al.</i> , 2010)	Anti-tTG, EmA	6403	30-93	Finlandia	2.5%
(Rubio-Tapia <i>et al.</i> , 2012)	Anti-tTG, EmA	7798	23-66	Estados Unidos	0.71%
(Singh <i>et al.</i> , 2016)	Anti-tTG, EmA	43 955	No especificado	Asia	0.5 %

Anticuerpos anti-tTG-transglutaminasa, anticuerpos anti-edomisio EmA (Caio, Tovoli, & De Giorgio, 2013).

La prevalencia en países occidentales presenta un incremento con la edad en los últimos 15 años y se ha reportado que es mayor en familiares de primer grado, alcanzado del 10 % al 15 % de incremento (Catassi *et al.*, 2010), particularmente en pacientes con Síndrome de Down, diabetes tipo 1 o afección del sistema inmunitario (IgA) (Caio *et al.*, 2019).

II.1.2 Intolerancia al gluten

El incremento de pacientes en todo el mundo que son sensibles al gluten en la dieta sin evidencia de enfermedad celiaca o alergia al trigo ha contribuido a la identificación de un síndrome definido como sensibilidad al gluten no celiaca. Su patogenia es heterogénea, pues contribuyen muchos factores incluida la inflamación intestinal de bajo grado, alteración de los mecanismos que componen la función de barrera intestinal y los cambios en el microbiota intestinal. El gluten, los inhibidores de la amilasa y tripsina son los principales factores que desencadenan este síndrome (Volta *et al.*, 2013).

El gluten está constituido por dos grupos de proteínas: prolaminas y gluteninas. Las prolaminas presentes en trigo (gliadinas), centeno (secalina) y cebada (horleina), estas presentan una mayor resistencia a la digestión completa por parte de las enzimas del tracto gastrointestinal y pueden llegar intactos al intestino delgado. En personas con enfermedad celiaca, los péptidos pasan del lumen intestinal al epitelio y de ahí a la lámina propia donde activan una respuesta inflamatoria causando el aplanamiento de las vellosidades intestinales y la elongación de las células de las criptas (células secretoras), junto con una respuesta inmunitaria sistémica global (Kagnoff, 2007). Con el tiempo, estos efectos lesionan la mucosa intestinal, comprometiendo las funciones secretoras, digestivas y absortivas normales del intestino, pudiendo llegar a una mala absorción de macro y micronutrientes. Se ha informado la cantidad mínima de gluten para inducir los síntomas en una persona con enfermedad celiaca es de al menos 50 mg de gluten/día (Catassi *et al.*, 2014).

II.1.3 Veganismo

Las dietas vegetarianas dietéticamente se caracterizan por la abstinencia del consumo de carne y productos de origen animal. Estas dietas han alcanzado alta popularidad. Las razones que tiene la población para adoptar este perfil dietético son diferentes que van desde sus creencias religiosas, cuestiones ambientales y

culturales, hasta aspectos relacionados con la salud. Los beneficios de estas dietas han sido informados por métodos transversales y estudios de cohortes prospectivos de los últimos 50 años, pero con un perfil de incertidumbre por el tamaño limitado de muestras de estudio (Dinu *et al.*, 2017). Dentro de las dietas vegana cobra importancia la inclusión de alimentos nutricionalmente densos como las legumbres (lentejas, los garbanzos y los frijoles, principalmente), ya que se consideran un alimento básico, son nutritivos y mejoran la salud por su aporte de proteína. Los frijoles son un alimento importante para los veganos y para las personas afectadas por un problema de salud relacionados con la nutrición como la obesidad, diabetes, sobrepeso y problemas cardiovasculares (Tharanathan & Mahadevamma, 2003).

II.2 Frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.)

II.2.1 Generalidades del frijol

Las leguminosas se caracterizan por presentar frutos en forma de vainas, entre las cuales el frijol, las lentejas, las habas y los garbanzos son de las más conocidas en el mundo (Vázquez, 2021). Los frijoles se cultivan en regiones templadas y semitropicales, donde se obtiene una diversidad de colores de ellos. El frijol común se cultivó por primera vez en Perú y México aproximadamente hace unos 800 años y hoy se cultivan en casi todo el mundo (FAO, 2021). El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es una leguminosa que se distribuye en el mundo y se consume en países de Latinoamérica, India y África. México tiene 47 especies de las 52 especies clasificadas del género *Phaseolus* (Chávez & Sánchez, 2017). Los frijoles son semillas dicotiledóneas pertenece a la familia de las leguminosas, que se cultivan ampliamente en el mundo debido a su adaptación y tolerancia a la sequía (Vázquez, 2021). Las semillas de frijol contienen proteína, almidón y lípidos en el cotiledón y la fibra en la testa. La estructura de la semilla del frijol está en la **Figura 1**.

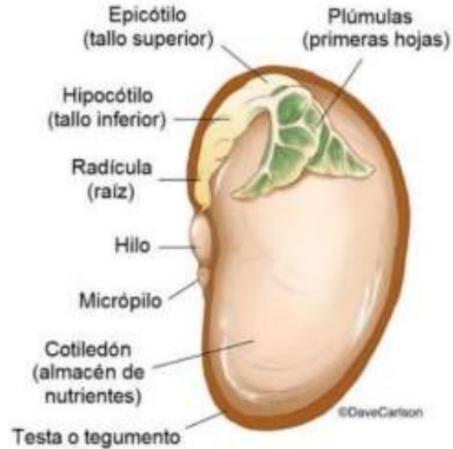


Figura 1. Composición del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) (CIAT, 1984).

modificado de : <https://www.carlsonstockart.com/photo/pinebean-seed-structure-comparison-gymnosperm-angiosperm/>

Las proteínas de los frijoles se acumulan durante el desarrollo de la semilla en los orgánulos unidos a la membrana (cuerpos proteicos) de las células del parénquima en el cotiledón, denominadas como “proteínas de almacenamiento”. El resto son proteínas menores que incluyen enzimas, proteasas, inhibidores de amilasa y lectinas (Campos-Vega, Loarca-Piña, & Oomah, 2010). El cotiledón (**Figura 2**), es un almacén de nutrientes, contiene otras macromoléculas como carbohidratos, proteínas, lípidos y micronutrientes como compuestos fenólicos (Quiceno *et al.*, 2017; Chávez-Mendoza & Sánchez, 2017).

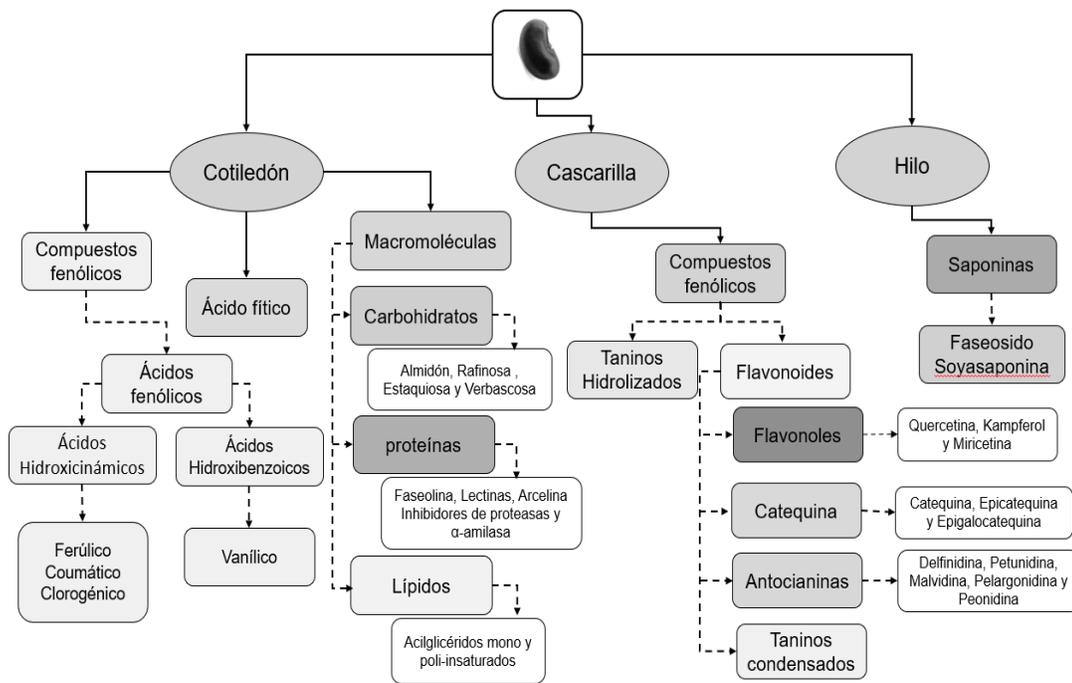


Figura 2. Componentes en el cotiledón, cascarilla e hilo en el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.).

(Ranilla, Genovese, & Lajolo, 2007; Ulloa, Ramírez, & Ulloa, 2011; Guajardo-Flores *et al.*, 2012 ; Luna-Vital, Mojica, de Mejía, Mendoza, & Loarca-Piña, 2015; Ganesan & Xu, 2017a)

El frijol constituye un alimento importante en la dieta de los mexicanos, por lo que se encuentra en diversos platillos. Sin embargo, la cantidad y frecuencia de su consumo ha disminuido en las zonas urbanizadas. Esta tendencia resulta preocupante ya que los beneficios nutricionales del frijol, debido a su composición química, son descartados y al ser su consumo reemplazado por la llamada “dieta occidental”, se contribuye al incremento al riesgo a padecer ENTs (Rivera *et al.*, 2016).

II.2.2 Tipo de frijol

Existe una gran variedad de frijoles que se diferencian por características como tamaño, forma y color, principalmente, entre los que destacan: frijol común (*Phaseolus vulgaris*), ayocote (*Phaseolus cossineus*), comba (*Phaseolus lunatus*) y

tépari (*Phaseolus acufolius* Gray) (SAGARPA, 2017). Las diferentes especies de frijol se ha agrupadas de acuerdo con su color en: frijoles Negros, amarillos, blancos, morados, bayos, pintos y moteados, las variedades de frijol. Los frijoles Negros de mayor consumo en México son: Negro Jamapa (Negro 8025), Negro Querétaro y Negro Zacatecas, que son ricos en antocianinas, compuesto que da color a su testa (cáscara). Por su parte, los frijoles azufrados como mayocoba Peruano y garbancillo son de color amarillo debido a su contenido de carotenoides un tipo de pigmento responsables del color (**Figura 3**). Las antocianinas y los carotenoides son pigmentos cuyo consumo se ha relacionado con la prevención de enfermedades cardiovasculares y cáncer, por lo que es importante el consumo de frijoles pigmentados (Campos-Vega, Loarca-Piña, & Oomah, 2010).



Figura 3. Semillas de frijol de diferentes colores (FAO, 2021).

En Mexico la ingesta anual estimada de frijol común es de 13.2 kg *per cápita*, del cual los consumidores prefieren los tipos “Azufrados” (amarillo fuerte) en el Noreste; “ pinto” (beige con moteados marrones) y “Bayos” (crema) en el centro; y en el sur, el tipo “Negro“, mientras que en el centro se consumen todas las clases comerciales (Campos-Vega *et al.*, 2009). El consumo de frijoles se han relacionado con reducir el riesgo de padecer ENTs. Los estudios en animales han demostrado que el consumo regular de frijoles contribuye a disminuir la incidencia de cáncer de colon, entre otras condiciones (Hangen & Bennink, 2002).

II.2.3 Consumo en México

En el plan nacional de 2017 a 2030, SAGARPA (2017) identificó que el frijol es una leguminosa clave en la dieta de los mexicanos, siendo el consumo anual *per cápita* de 9.9 kg. La misma institución reportó que la producción en el año 2016 fue de 1.08 millones de toneladas generadas, cubriendo un 89.24 % del consumo nacional y el volumen restante se cubrió con la importación de Estados Unidos, Canadá y China. México es el cuarto productor mundial generando el 5.5 % de la producción global. En el periodo entre el año 2003 a 2016 se tuvo una reducción acumulada de un 23.05 %. En el contexto de siembra, de la producción de 1.63 millones de hectáreas sembradas en el 2016, el 86.98 % se siembra por un sistema mecanizado y el 38.90 % cuenta con tecnología, mientras que sólo el 35.37 % del territorio sembrado contó con asistencia técnica. La producción de temporal representa en 76.07 % de la producción total (SAGARPA, 2017). El SIAP (2021a) menciona que los precios de las leguminosas de mayor consumo en México, como los frijoles Pintos y Negros es de \$28.83/ kg y \$21.25/ kg respectivamente. El caso del azufrado (Peruano) tiene un costo de \$ 34.80 comparado con el mes de abril, equivalente del año 2020, por lo que aumentó su precio (SIAP, 2021a). La mayor parte de la producción de frijol Peruano, mayocoba o frijol amarillo que se comercializa en México, en un seguimiento que se dio a 15 ciudades en los principales mercados nacionales, indica que proviene de tres entidades: Jalisco, Morelos y Sinaloa, donde el precio al consumidor más alto se ubicó en el Estado de Querétaro de \$54.46/ kg y el estado con el precio más bajo fue en Aguascalientes de \$39.50/ kg (SIAP, 2021c).

La mayor parte de la producción de frijol Negro que se comercializa en México, en un seguimiento que se dio en 14 ciudades, provienen de seis entidades: Jalisco, Nayarit, Puebla, Querétaro, Quintana Roo y Zacatecas; donde el precio al consumidor más alto se ubicó en Chetumal (\$40.50/ kg) y el precio más bajo fue en Campeche (\$28.62/ kg) (SIAP, 2021b).

II.2.4 Composición química del frijol

El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) es una leguminosa de amplio consumo en todo el mundo por su alta fuente de proteína, carbohidratos complejos, fibra dietética, algunas vitaminas, minerales (Zn, Ca, Fe y K) y no contiene colesterol (Reyes-Moreno & Paredes-López, 1993). Los frijoles son ricos en aminoácidos de triptófano y lisina, pero deficientes en aminoácidos azufrados como metionina y cisteína. Además, también presentan diversos factores antinutricionales como las lectinas, inhibidores de tripsina y taninos, los cuales impiden la utilización biológica de algunos nutrientes (Derache, 1990). A estos nutrientes se les ha relacionado con propiedades biológicas importantes y actualmente se les reconoce como compuestos bioactivos que se describirán a continuación: compuestos fenólicos (PC), fracciones de fibra dietética (fracción de fibra, almidón resistente y oligosacáridos) presentes en la semilla. Estos componentes pueden ejercer un efecto benéfico en la salud del consumidor, principalmente como antioxidantes, antimutagénicos, antiinflamatorios, hipoglucemiantes, hipocolesterolémicos e incluso anticarcinogénicos (Ramírez-Jiménez *et al.*, 2014; Singh *et al.*, 2017c).

La proteína del frijol es constituida por tres fracciones principales: faseolina, lectinas y arcelinas, donde la faseolina es una proteína globular, soluble en agua y punto isoeléctrico en pH 5.6 -5.8. Las lectinas son la fracción capaz de aglutinar glóbulos rojos en sangre, se encuentran de un 6-12 % en las leguminosas y en la planta del frijol cumple la función de ser la función de anticuerpos contra las bacterias del suelo, protegiéndolas del ataque de hongos además de otras funciones como su participación en el transporte de azúcares almacenadas. La arcelina está presente en una pequeña fracción de proteína del frijol común, con una función similar a las lectinas (Reyes-Moreno & Paredes-López, 1993).

Las proteínas de almacenamiento se clasifican en globulinas, albúmina, glutelinas y prolaminas según su solubilidad (Osborne, 1924). Aún en la actualidad se utiliza el método de Osborne (Cuadro 2), junto con otros métodos más refinados de clasificación de proteínas. Las albúminas son solubles en soluciones de agua

salada, las cuales representan un 70 % de las proteínas presentes en las leguminosas y las albúminas solubles en agua de un 10 % a 20 % (Boye, Zare, & Pletch, 2010). Las proteínas de menor proporción son las glutelinas, que son solubles en detergentes ácidos o alcalinos diluidos y prolaminas que son solubles en soluciones de etanol y agua. Las globulinas predominantes son las de tipo vicilina 7S y leguminosas 11S (Duranti, 2006; Boye, Zare, & Pletch, 2010; Marambe & Wanasundara, 2012; Aguilar *et al.*, 2015). Las vicilinas 7S tienen una estructura trimérica con peso molecular de 175-180 kDa y las leguminosas 11S tienen una estructura cuaternaria con una estructura ácida de 40 kDa y subunidades básicas de 20 kDa (Boye, Zare, & Pletch, 2010) y la tercera proteína de almacenamiento llamada convilina (Sáenz de Miera, Ramos, & Pérez De la Vega, 2008).

Cuadro 2. Composición proximal de las clases de las proteínas por la clasificación de Osborne.

Fuente	Clasificación de Osborne				Producto	Proteína (%)	Proveedor
	Albúminas (%)	Globulinas (%)	Prolaminas (%)	Glutelinas (%)			
Frijol	31	38-40	1.7	22	Harina de frijol	22	Harinera Los Pisones (Zamora, España)

(Boye, Zare, & Pletch, 2010; Osborne, 1924)

El frijol común aporta fibra dietaria que se compone de celulosa, hemicelulosas, pectinas, oligosacáridos y lignina que resisten la digestión y absorción en el intestino delgado, pero puede ser fermentada de manera parcial o total en el intestino grueso por el microbiota intestinal (Campos-Vega *et al.*, 2013). El almidón es un carbohidrato que se encuentra en las semillas de los frijoles, su contenido se encuentra de 22 % a 45 %, depositado en gránulos parcialmente cristalinos con una variación morfológica y estructura molecular dependiendo de la especie. Los almidones de los frijoles de lenta digestión se fermentan en el intestino grueso para

producir ácidos grasos de cadena corta (AGCC), que le dan beneficios a la salud (Ovando *et al.*, 2011). En relación con vitaminas y minerales, los principales presentes en el frijol son el hierro, calcio, fósforo, magnesio y zinc, así como las vitaminas tiamina, niacina y ácido fólico (Ulloa, Ramírez, & Ulloa, 2011). En el **Cuadro 3** se muestra la composición química del frijol crudo.

Cuadro 3. Composición del frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) crudo variedad bayo Madero.

Componente	Composición	Componente	Composición
Proteínas (g)	18.4 ± 0.1	Fitatos (mg/g)	13.82 ± 0.57
Lípidos (g)	2.3 ± 0.0	Taninos (mg/g)	13.78 ± 0.57
Cenizas (g)	0.6 ± 0.0	Vitaminas (mg/70.5 mg)	
Carbohidratos (g)	64.7	Tiamina	0.99
Fibra dietaría total (% materia seca)	27.0	Riboflavina	0.201
Fibra Soluble	4.5	Niacina	1.93
Fibra insoluble	22.6	Vitamina B6	0.285
Almidón Resistente	26.9	Ácido Fólico	0.447
Almidón Total	42.9	Fósforo	380.3
(% masa seca)		Potasio	1424.3
Oligosacáridos (g/100 g muestra)		Calcio	5.2
Rafinosa	0.40 ± 0.03	Magnesio	92.3
Estaquiosa	3.23 ± 0.18	Zinc	195.6
Verbascosa	0.12 ± 0.01		

(Costa de Oliveira, Silva, Machado, & Carraro, 2001; Serrano & Goñi, 2004).

II.2.5 Compuestos bioactivos

Los frijoles contienen compuestos bioactivos que no solo le dan color a las semillas, como son los glicósidos de flavonol, antocianinas y taninos condensados (proantocianidinas), sino que también poseen actividad biológica. Estos compuestos ofrecen protección indirecta mediante la activación del sistema inmune y con modulación de los procesos de señalización celular dándole importancia a los productos alimenticios. Ofrecen beneficios a la salud como anticancerígenos, antitrombóticos, antialérgico y antioxidante (Chávez & Sánchez, 2017), dándole un atributo de alimento funcional (Mojica, Chen, & González de Mejía, 2015). Los compuestos pueden inhibir los mecanismos de estrés oxidativo que llevan a la degeneración celular, derivando en beneficios a la salud, reduciendo el riesgo de padecer hipertensión arterial, hipercolesterolemia, diabetes tipo II, enfermedades cardiovasculares y cáncer, pero esto depende de la cantidad y biodisponibilidad (Campos-Vega, Loarca-Piña, & Oomah, 2010).

II.2.5.1 Compuestos fenólicos

Las leguminosas son una buena fuente de compuestos fenólicos bioactivos que desempeñan un papel importante en muchos procesos fisiológicos y metabólicos. Los ácidos fenólicos, taninos y taninos condensados son compuestos fenólicos primarios que están en las semillas de leguminosas mayoritariamente en su cubierta y son principalmente catequinas y procianidinas (**Figura 4**). Los ácidos gálicos y procatecuico son comunes en frijol y frijol mungo (*Vigna radiata*). Muchos de los compuestos fenólicos son solubles en agua por lo que suelen lixivarse en el agua de cocción (Singh B. , Singh, Kaur, & Singh, 2017b).

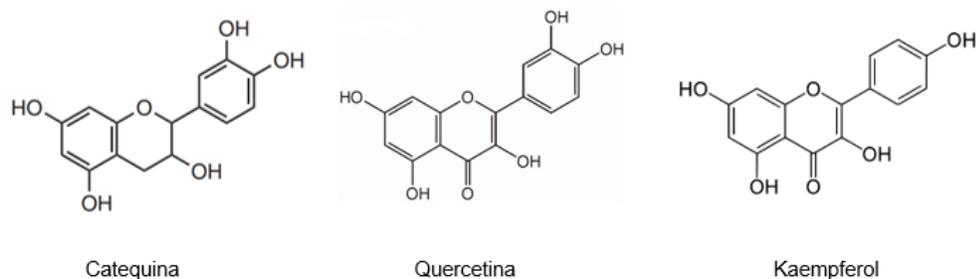


Figura 4. Estructura molecular de los principales flavonoides presentes en frijol común (Shahidi & Naczki, 2004).

Los frijoles de color negro contienen 3-O-glucósidos de Kaempferol, quercetina y miricetina; los frijoles pintos contienen 3-O-glucósidos de kaempferol; y los frijoles rojos claros y oscuros 3-O-glucósidos de quercetina. También se detectó por primera vez en las cubiertas un triglicósido de flavonol. Las concentraciones reportadas de kaempferol-3-O-glucósido están entre 0.44 a 7.08 mg/g peso de la cubierta de las semillas secas, la de quercetina-3-O-glucósido es de 0.91 a 3.8 mg/g de la cubierta de la semilla seca (Pitura, 2011).

II.2.5.2 Saponinas

Las saponinas son sustancias que se caracterizan por tener una estructura que contiene una aglicona esteroidea o un triterpenoide que incluye una o más cadenas de azúcar (Ramírez-Jímenez *et al.*, 2015). Se identifican como glucósidos esteroides, glucósidos alcaloides esteroides o glucósidos triterpénicos, que contienen otras moléculas más de azúcar en su estructura. Estos compuestos bioactivos poseen una estructura compleja compuesta por un núcleo esteroideo hidrofóbico y una parte externa hidrofílica constituida por unidades de monosacáridos (Chávez & Sánchez, 2017), son glúcidos que determinan un sabor amargo como en la soya cruda y la quinoa sin desaponificar (Chaparro, Porrilla, & Elizalde, 2009).

Las saponinas son compuestos bioactivos que están divididas en tres grupos llamados del grupo A al grupo E por su función de sus estructuras de agliconas. El grupo A tienen glucosilos unidos a las posiciones C-3 y C-22 de la aglicona; para los grupos B y E están glucosiladas solo en la posición C-3. Es importante mencionar que en el grupo E contienen una cetona en el C-22 y no un grupo hidroxilo como en sus homólogos del grupo B (Guajardo, García, Serna, Gutiérrez, & Serna, 2012). Se han estudiado las saponinas extraídas de frijol Negro (*Phaseolus vulgaris* L.) sobre sus propiedades antioxidantes, antiinflamatoria (Ranilla, Genovese, & Lajolo, 2007) y los efectos hipocolesterolémicos en animales de laboratorio (Chávez, Lazo, Serna, & Gutiérrez, 2016).

II.2.5.3 Fibra Dietaria

La definición de fibra incluye a la fracción de los alimentos derivada de la pared celular de las plantas, que resisten la hidrólisis por las enzimas digestivas en humanos (García *et al.*, 2006). La fibra dietaria se ha clasificado por su solubilidad, en soluble e insoluble, tal como lo muestra el **Cuadro 4**. La fibra soluble adquiere una consistencia viscosa y es fermentable, en cambio la insoluble no es viscosa y es escasamente fermentable (Valenzuela & Maiz, 2006). La fibra soluble al contacto con el agua forma un gel donde queda atrapada, formando una solución de gran viscosidad. La fibra insoluble es capaz de retener agua en su matriz estructural formando mezclas de baja viscosidad, produciendo un aumento de la masa fecal que acelera el tránsito intestinal y contribuyendo en la disminución de la concentración y el tiempo de contacto de potenciales carcinogénicos con la mucosa del colon (Escudero & González, 2006).

Cuadro 4. La fibra por su grado de solubilidad.

Fibra Dietética		
Sujeta a la descomposición microbiana en la parte baja del intestino		
Pared Celular vegetal	No pared celular	Material Atrapado físicamente
Celulosa	Almidón resistente (Tipo 2 y 3)	Almidón Resistente (Tipo 1)
Hemicelulosa		
Pectinas	Oligosacáridos no digeribles	Azúcares Proteínas Minerales
	Probióticos	
	Rafinosa	
	Estaquiosa	
	Inulina	
No sujeta a la descomposición microbiana en la pared baja del intestino		
Pared Celular vegetal	No pared celular	Material Atrapado físicamente
Celulosa	Oligosacáridos de polisacáridos despolimerizados	Almidón Resistente (Tipo 1)
Hemicelulosa		
Pectinas	Olestra Pelos y otros objetos	Azúcares Proteínas Minerales
Lignina		
Cutina		
Ceras		
Suberina		

(Ha, Jarvis & Mann, 2000; Simpson & Campbell, 2015).

La estructura química y las propiedades fisicoquímicas de la fibra son importantes para su funcionalidad y efectos a la salud, así como su tecnofuncionalidad entre las que se distinguen: la dimensión, porosidad, hidratación, propiedades reológicas y aglutinantes de grasas. Muchas de las preparaciones de fibras comerciales surgen de chícharos y frijol de soja, extraídos de los cotiledones o de las cáscaras. La fibra interna (cotiledones) de la semilla es suave, contiene una variedad de polisacáridos (celulosa y glucanos no celulósicos) y la externa es arenosa (celulosa, hemicelulosa y pectinas), las paredes celulares de los cotiledones no están lignificadas (Guillon & Champ, 2002).

Los principales componentes de las fibras dietéticas son los carbohidratos complejos como el almidón resistente, pectina, oligosacáridos y lignina. A la fibra dietética también se le han reportado beneficios para la salud que incluyen efecto

laxante, atenuación del colesterol y glucosa en sangre, así como el aumento de la pérdida fecal de ácidos biliares. Los polisacáridos que no son almidón (non-starch polysaccharides o NSP, por sus siglas en inglés) son sustratos potenciales para fermentación colónica, formados por compuestos bifidogénicos de sustancias no digeribles por las enzimas gastrointestinales que benefician al huésped, con un crecimiento selectivo y actividad de bacterias colónicas capaces de producir ácidos grasos de cadena corta (AGCC), como son: ácido acético, propiónico y butírico. También se pueden formar pequeñas cantidades de ácidos grasos ramificados de proteína conocidos como ácidos grasos de cadena ramificada o branched-chain amino acids (BCAA, por sus siglas en inglés) no digeribles (Roberfroid, 2001). Estas propiedades pueden dar un efecto prebiótico potencial y también producción de gas (flatulencias), principalmente por oligosacáridos no digeribles como la rafinosa presente en los frijoles, que producen altas proporciones de ácido butírico tras la fermentación en el intestino posterior de ratas. Por ello, se ha sugerido que el consumo regular de cantidades moderadas de oligosacáridos y otros carbohidratos no digeribles que producen AGCC específicos, contribuye a los efectos beneficiosos sobre la salud intestinal. Trindade, Abratt & Reid, (2003) informaron que los AGCC en el colón son nutrientes importantes para las células del colon. Por su parte, Henningsson, Nyman & Biork (2001) demostraron que las concentraciones de AGCC también estimulan la absorción de agua y la de minerales, lo que resulta en una recuperación más rápida de la diarrea y la prevención de la deficiencia de minerales (Younes, *et al.*, 2001; Reid, 2001; Henningsson, Nyman & Biork, 2001). El ácido butírico es un ácido graso de cadena corta de cuatro carbonos fisiológicamente relevante para el epitelio colónico, favoreciendo la proliferación en la mucosa normal. Este ácido es de interés por su efecto protector debido a sus propiedades biológicas como los efectos antiproliferativos sobre las células transformadas (Mariadason, Catto-Smith, & Gibson, 1999), se ha descubierto que también induce la apoptosis, inhibiendo la proliferación y conduce a un fenotipo diferenciado en el carcinoma del colon humano (Avivi *et al.*, 2002). El ácido butírico también ejerce efectos protectores contra la inflamación intestinal (Luzardo-

Ocampo, *et al.*, 2020a). El ácido propiónico es absorbido vía vena porta, pasa al hígado transferido a través de la circulación y metabolizado por el musculo, pudiendo inhibir la síntesis de colesterol *de novo*. Una vez metabolizado el ácido butírico pasa tejido de riñón, corazón y cerebro y (Beyer *et al.*, 2003). El ácido acético modula proteínas asociadas con la muerte programada (apoptosis) en células humanas de cáncer de colon (Emenaker *et al.*, 2001).

II.2.5.4 Almidón Resistente

El almidón propiedades nutricionales que está relacionada con la velocidad, grado de digestión y absorción en el intestino delgado. El almidón se clasifica con el almidón de rápida disponibilidad, lenta y resistente (RS), donde el mecanismo subyacente exacto de la resistencia relativa de los gránulos de almidón es complicado porque están interconectados. El contenido de RS en los alimentos está muy influenciado por la forma en la que se prepara los alimentos; los tratamientos físicos y químicos también alteran el nivel de RS en un alimento (Raigond, Ezekiel, & Raigond, 2015).

La mayoría de las leguminosas tienen un contenido de amilosa relativamente alto, en comparación con la mayoría de los almidones. Por esa razón, su patrón de difracción de rayos X es de tipo C, que se considera intermedio entre los tipos A y B (Gallant, Bouchet, Buléon, & Pérez, 1992). En el **Cuadro 5** se muestra un resumen de diferentes leguminosas con patrones diferentes de almidones de rayos X de acuerdo con su contenido amilosa.

Cuadro 5. Características de leguminosas.

Especie	Patrón de difracción de rayos X	% de almidón (Amilosa)	Gelatinización Temperatura (°C)	Referencias
<i>Pisum sativum</i>			55-65	(Colonna & Mercier, 1985)
Suave	C	31-35	55-125	
Rugoso	B	66-72		
<i>Phaseolus vulgaris</i>	C	33-35	-	(Colonna & Champ, 1990)
<i>Lens esculenta</i>	C	-	95	(Colonna & Mercier, 1985)
<i>Cicer arietinum</i>	C	23.9-27.8	60.1-67.3	(Meares, Bogracheva, & Hedley, 1997)
<i>Vicia faba</i>	C	24	97	(Duprat <i>et al.</i> , 1980)
Trigo	A	22.7	82-94	(Colonna & Champ, 1990)
Maíz (común)	A	22.1	55-70	(Colonna & Mercier, 1985)
Papa	B	25.0	66-90	(Colonna & Champ, 1990)

II.2.5.5 Galactooligosacáridos

Los carbohidratos son el principal componente de las semillas de las leguminosas, que representan de un 55 % al 65 %, de los cuales el almidón se puede encontrar entre el 22 % al 45 %. Del restante de carbohidratos (NSP), la fibra dietética incluye diferentes tipos como fibras solubles e insolubles, pectinas, gomas, hemicelulosa e inulina entre otros (Hoover & Zhou, 2003). Las fracciones de carbohidratos se componen principalmente de monosacáridos, disacáridos oligosacáridos y almidón. Las fracciones de carbohidratos solubles de los frijoles secos contienen monosacáridos (glucosa, fructosa y galactosa), disacáridos (sacarosa) y oligosacáridos como rafinosa, estaquiosa y verbascosa en los que la galactosa está presente en enlaces α -D-1-6. Los oligosacáridos son los causantes de las flatulencias en el hombre y animales, debido a que, particularmente en los humanos, se carece de las enzimas para hidrolizarlos (α -galactosidasa) (Aguilera *et al.*, 2009), las bacterias del intestino grueso los fermentan para producir gas, causando

algunos problemas sociales en adultos y malestar en bebés y niños pequeños (Fleming, 1981). La reducción de los factores de flatulencias presentes en los frijoles ayuda su aceptación por parte del consumidor, favoreciendo su inclusión en la dieta y contribuir a la salud. El método térmico aplicado a los frijoles con un previo remojo contribuye a reducir la actividad inhibidora de la tripsina y el contenido de los oligosacáridos (Siddhuraju & Becker, 2001). También se han observado efectos similares en el proceso de germinación o la fermentación con microorganismos capaces de degradarlos (Rehms & Barz, 1995), pero estos dos últimos procedimientos le atribuyen un cambio de aroma del frijol, que pueden no ser deseable para algunos consumidores. El uso de enzimas para eliminar oligosacáridos en la harina de leguminosas puede evitar la producción del sabor fuerte de fermentación (Song & Chang, 2006).

Sánchez-Mata *et al.* (1998) determinaron mono, di y oligosacáridos en leguminosas por cromatografía líquida de alto desempeño (HPLC) con una columna de sílice con enlaces amino acoplada a un refractómetro diferencial (Sánchez-Mata *et al.*, 1998). Un método similar fue utilizado por Berrios *et al.*, (2010) para determinar la composición de carbohidratos en harina de leguminosas crudas y extruidas. Ambos determinaron que el proceso de extrusión favorece la disminución de rafinosa en las harinas resultantes. Fan *et al.* (2015) determinaron la composición de oligosacáridos de 8 leguminosas, por cromatografía líquida junto con detecciones de espectrofotometría de masa de alta resolución (Fan, Zang, & Xing, 2015). Se han reportado los perfiles de aminoácidos, ácidos orgánicos y azúcar de 23 clases de leguminosas (Kotha, Finley, & Luthria, 2020).

II.2.5.6 Propiedades nutraceuticas

Una buena fuente de fibra se puede obtener al consumir de frijol común que produce mayor saciedad, debido a su incremento de volumen en el estómago; mayor tiempo de tránsito intestinal, generando mayor sensación de plenitud. Además, contribuye a elevar los niveles de la hormona colecistoquinina,

relacionada con reducciones en los niveles plasmáticos de glucosa e insulina en pacientes diabéticos (Bourdon *et al.*, 2001).

Al consumo de frijol se le ha atribuido un efecto hipocolesterolémico debido a su contenido de fibra dietaria que influye sobre el nivel de las lipoproteínas, disminuyendo las lipoproteínas de baja densidad (LDL), así como un incremento en la producción de ácidos grasos de cadena corta durante la fermentación colónica (Sengupta, Muir, & Gibson, 2006). Por ejemplo, un producto formulado con frijol común contribuyó a reducir niveles de colesterol en mujeres con hipertrigliceridemias (Ramírez-Jiménez *et al.*, 2022a), mientras que botanas formuladas con frijol han demostrado efectos hipocolesterolémicos (Domínguez-Uscanga *et al.*, 2017) y antiinflamatorios (Luzardo-Ocampo *et al.*, 2018).

Los componentes que no son digeridos en una dieta en la parte superior del tracto intestinal y los glicanos endógenos (mucinas, glicoesfingolípidos, entre otros) constituyen los principales nutrientes para la microbiota que reside en la parte distal del intestino delgado y en el colon. Entre éstos, los hidratos de carbono complejos (oligo- y polisacáridos) aportados por la dieta constituyen el grupo de sustratos más abundantes y fermentables por la flora. Estos carbohidratos son hidrolizados y fermentados por las bacterias intestinales, produciendo gases y en su mayoría ácidos grasos de cadena corta, como acético, propiónico y butírico (Granito *et al.*, 2001).

II.2.6 Factores antinutricios

Antinutricios es un término que se utiliza para clasificar a aquellos compuestos que afecta al valor nutricional de algunos alimentos como las leguminosas, esto debido a que dificultan o disminuyen el poder aprovechar los nutrientes presentes en los alimentos principalmente de origen vegetal, como las proteínas y minerales. Bioquímicamente, estos factores tienen una naturaleza variada y puede ser tóxicos o causar efectos no deseados como las flatulencias,

distensión estomacal, afectaciones pancreáticas, aglutinación de glóbulos rojos, entre otros efectos (Abreu *et al.*, 1995; D`Mello, 2000; Muzquiz *et al.*, 2006).

El frijol común al ser una leguminosa contiene sustancias bioactivas que incluyen inhibidores de enzimas, lectinas, fitatos, oligosacáridos y compuestos fenólicos que desempeñan funciones metabólicas importantes en humanos o animales que consumen con frecuencia este grupo de alimentos. Estos efectos se consideran positivos, negativos o ambos (Guillon & Champ, 2002). Un grupo de estas sustancias se han considerado como factores antinutricionales por su efecto sobre la calidad de la dieta. Los inhibidores de enzimas pueden reducir la digestibilidad de las proteínas y las lectinas pueden reprimir la absorción de nutriente, pero ambos tienen un mínimo efecto después de la cocción (Lajolo & Genovese, 2002). Los factores antinutricionales se clasifican en termo estables y termo lábiles; los factores termoestables incluyen a factores antigénicos, oligosacáridos y aminoácidos no proteicos tóxicos, saponinas, estrógenos, cianógenos, fitatos de este grupo los más importantes son: los oligosacáridos, los factores antigénicos, las saponinas y los fitatos. Entre los factores termolábiles se encuentran, los inhibidores de proteasas (tripsina y quimotripsina), lectinas, goitrogenos y anti-vitaminas, de este grupo los más importantes son: los inhibidores de proteasas y las lectinas (Belmar, 2001).

II.2.6.1 Lectinas y enzimas inhibidoras

Las lectinas son un factor antinutricional que, pertenecen a un grupo variado de proteínas no inmunes denominado hemaglutininas y se encuentran distribuidas en la naturaleza, en plantas animales y microorganismos (Hernández *et al.*, 2005). Las lectivas de origen vegetal están presentes como glicoproteínas y su efecto en *in vitro* consiste en combinarse con las glicoproteínas de las membranas de los glóbulos rojos, las cuales aglutinan o coagulan. Su acción de es muy específica en *in vitro* debido a su alta especificidad para reconocer carbohidratos (Lis & Sharon,

1998; Hernández *et al.*, 2005). Su función radica en que se adhieren a los carbohidratos sobre la superficie del intestino delgado (duodeno y yeyuno) causando daños en la pared intestinal, afectando la absorción y transporte de los nutrientes a través de ella (Hernández *et al.*, 2005).

Las lectinas aisladas de leguminosas, se encuentre formada por subunidades idénticas de 25 a 30 KDa , cada una de sus subunidades contienen un sitio de unión para iones metálicos Ca^{+2} Mn^{+2} y Mg^{+2} una subunidad contiene alrededor de 250 aminoácidos, estas presentan homología entre ellas. Además, están constituida por dos hojas β antiparalelas, conectadas entre sí, mediante bucles, generando una estructura plana en forma de domo (Mákela, 1957).

La destrucción de las lectinas por medio de calor es sabido desde 1889 por Stilmark, debido a la desnaturalización proteica, las lectinas son inactivadas bajo condiciones de desnaturalización irreversible. Las leguminosas son tratadas con calor antes de ser consumidas por el humano, por lo que la destrucción de estos factores anti nutricios es debido a que es termolábiles (Lajolo & Genovese, 2002). Las lectinas se pueden inactivar mediante la cocción de un tiempo mínimo de 15 min a presión atmosférica o por 7.5 min bajo presión y se reporta una completa inactivación a 100 °C durante 10min, por lo que no hay actividad si los frijoles son cocidos de forma adecuada (Lajolo & Genovese, 2002). Sin embargo, las lectinas se ha utilizado en otras aplicaciones específicas debido a que aquellas extraídas de ciertos tipos de frijol tienen efectos prometedores incrementando la permeabilidad intestinal y podrían ser utilizadas como protectoras contra el desarrollo de cáncer de colon (Vega-Rojas *et al.*, 2021).

II.3 La pasta

Los primeros orígenes de la pasta se remontan a Asia, pero fue al explorador Marco Polo a quien se le atribuye haber llevado la idea a Italia. Para el siglo XV ya era muy conocida la pasta por lo que se puede creer que ya existía en el sur de Italia. En Nápoles y Sicilia a todos los tipos de pasta se les conocía como

maccheroni que significa macarrones. En algunas tumbas etruscas los arqueólogos han identificado algo parecido a la pasta y los árabes descubridores de los beneficios del trigo duro, mucho tiempo antes cocían finas láminas de pasta. A pesar de que se le atribuía el origen de la pasta a Asia, especialmente China y Japón, es en Italia donde la pasta alcanza un nivel cultural, eje sobre el que gira la alimentación de este país (Rivera-Torres *et al.*,2005)

La Organización Internacional de la pasta (IPO), define a la pasta como un alimento hecho de sémola de trigo duro mezclada tradicionalmente con agua y algunas veces enriquecida con huevo, ingredientes que se mezcla mediante un amasado y es transformado en diversas presentaciones, pueden adquirirse secada o frescas, para después cocinarla. La palabra pasta proviene del término italiano para designar a la masa elaborada a partir de sémola de trigo y agua, a la cual se puede adicionar colorantes de las espinacas y tomates. Este alimento es de gran aceptación en el mundo, por factores como un bajo costo, abundante y fácil preparación (Kill & Turnbull, 2004).

II.3.1 Consumo de pastas en México

En México, después del maíz, el trigo es un cereal de mayor uso alimentario. El uso del trigo se clasifica en suave, duro y cristalino. El suave y el duro se utilizan en la formación de harinas para la manufactura de productos como: pasteles, galletas, snacks y cereales para desayuno. Los trigos cristalinos son molidos y purificados en una fracción gruesa llamada sémola que se utiliza principalmente para la elaboración de pastas (Serna, 2013). La pasta de sémola es un alimento de consumo en México, con la desventaja de tener bajo valor nutrimental, pues posee un porcentaje alto de carbohidratos (75-82 %) y su proteína es de baja calidad biológica (Kill & Turnbull, 2004). México a nivel mundial se coloca en el décimo segundo país que más pasta consume, con 8.7 Kg *per cápita* al año. Con la llegada de la pandemia, el consumo incrementó en hasta el 48 % en el mes de marzo, en comparación de los meses de enero y febrero (El-Financiero, 2021). INEGI reporta

que entre los meses de marzo y julio de 2021 las ventas de sopas crecieron 20.9 % anual en volumen en el país, dado que las pastas son parte importante en la despensa del mexicano (99 % de los hogares la compra) (En-alimentos, 2021).

II.3.2 Elaboración de la pasta

El ingrediente central de la pasta es la sémola, originada de la molienda del trigo durum (*Triticum durum*). La variedad de trigo *durum* se caracteriza por su endospermo duro, el cual posee una coloración amarilla ámbar que da el color característico de la pasta. En el proceso de molienda se separa el endospermo (sémola) y se eliminan el salvado y el germen. Los parámetros que definen la calidad de la sémola son el tamaño de la partícula y su uniformidad; una de las principales diferencias entre la harina y la sémola es el tamaño de la partícula la cual se encuentra entre 150 μm a 500 μm (Kruger, Matsuo, & Dick, 1996).

El agua es un ingrediente importante de la pasta, la cual se adiciona en una proporción de 18-25 % con respecto de la materia prima seca. Otro ingrediente que puede ser agregado es el huevo completo o solo las yemas, que ayuda a unir los ingredientes durante la etapa de manejo de la mezcla, facilitar su manejo y mejora el valor nutritivo del producto. Se pueden adicionar ingredientes adicionales para complementar su aceptación sensorial (Kill & Turnbull, 2004).

II.3.3 Características sensoriales y composición química

La pasta es un alimento versátil, fácil de almacenar y preparar, razón por la que es parte fundamental de la dieta de miles de familias alrededor del mundo. A pesar de que la pasta se consideró por algunos años como un alimento que promovía la ganancia de peso, hoy en día se conoce como una opción de alimentación saludable gracias al trabajo de investigación realizado de la comunidad científica y organización promotoras de la pasta en Europa, como la International Pasta Organisation (IPO) que a través de su publicación en el año 2007 "Pasta para

todos”, se recopila evidencia científica sobre sus beneficios nutrimentales, ya que la pasta es alimento que es fuente de carbohidratos complejos y provee energía. En su reporte del 2004 para el sector alimentario en México (**Cuadro 5**), el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) indicó el contenido nutricional de pasta enriquecida con huevo (INEGI, 2004).

Cuadro 5. Contenido nutricional de pasta enriquecida con huevo (INEGI, 2004)

Por cada 100 g de alimento crudo en peso neto	Contenido
Humedad (%)	10.4
Carbohidratos disponibles (g)	78
Fibra (g)	0.3
Energía (Kcal)	383
Proteínas (g)	12.9
Calcio (mg)	35
Hierro (mg)	2.9
Retinol (mcg)	66
Sodio (mg)	4.0
Tiamina	0.9
Riboflavina (mg)	0.4
Niacina (mg)	6.0

(INEGI, 2004)

La pasta es reconocida como un alimento de bajo índice glicémico (GI) por no causar un aumento de glucosa en sangre al consumirla. El consumo de la pasta, no se acostumbra sola ya que se acompaña siempre con verduras, aceites, salsa de tomate, legumbres y carnes como: aves, pescado y mariscos, que le da un valor agregado al consumidor (Kill & Turnbull, 2004). Las propiedades de la pasta están ligadas a la estructura de su matriz formada durante el proceso de extrusión y secado (Colonna, *et al.*, 1990; Petitot, Abecasssis, & Micard, 2009), puesto que debido a este tratamiento térmico, la microestructura de la pasta es compacta, limitando la hidrólisis de los gránulos de almidón internos, atribuible a su contenido de almidón resistente y su reducida susceptibilidad durante la digestión (Petitot, Abecasssis, & Micard, 2009; Giacco, Vitale, & Riccardi, 2016). En contraste la pasta

de trigo refinada tiene un contenido reducido de fibra y micronutrientes (minerales y vitaminas) (Giacco, Vitale, & Riccardi, 2016) y un contenido de proteínas de bajo valor biológico por la deficiencia de aminoácidos (lisina y treonina) (Abdel-Aal & Hucl, 2002). Por su importancia y consumo, la pasta es un alimento básico en la dieta humana y ha crecido el interés por el desarrollo de pastas enriquecidas con altos valores nutricionales. En la **Figura 5** se muestra que la pasta enriquecida puede aportar ingredientes funcionales, buscando cubrir la demanda de estos en el mercado. Dada la formulación de las pastas enriquecidas verían proporcionar beneficios a la salud más allá de la nutrición básica (Chavez-Gonzalez, Buenrostro-Figueroa, & Aguilar, 2021)

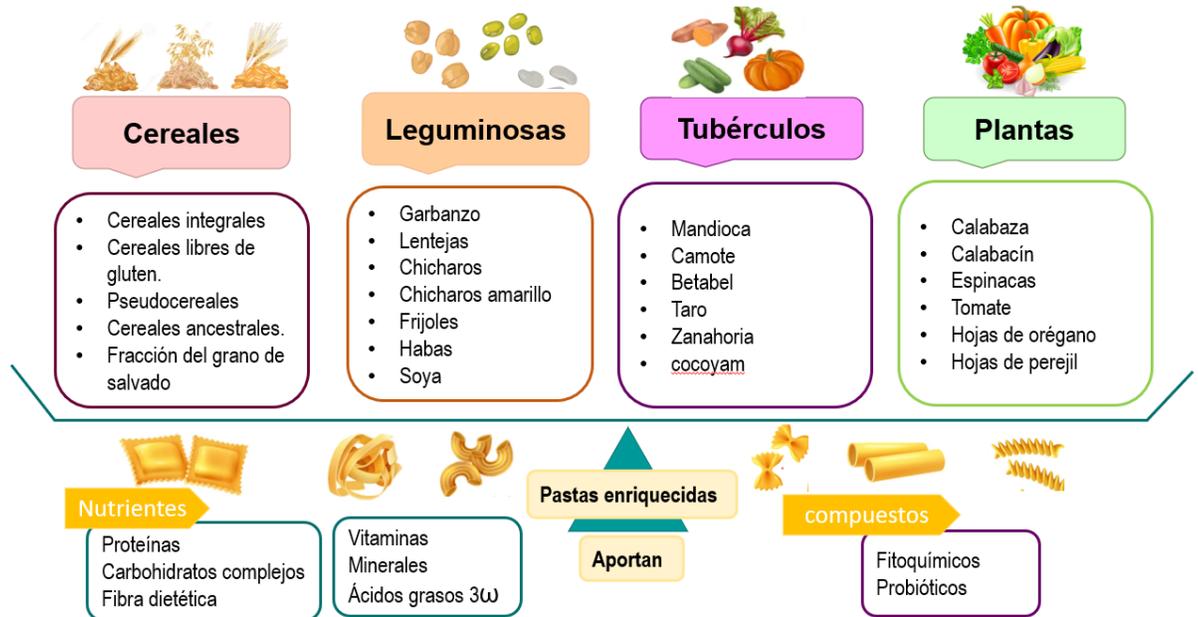


Figura 5. Materias primas con alto valor nutricional para la producción de pastas enriquecidas (Di Pede *et al.*, 2021)

Las formulaciones de las pastas pueden afectar la respuesta glicémica después del consumo (Brand *et al.*, 1985; Björck *et al.*, 1994; Chiavaroli *et al.*, 2021). El IG representa uno de los parámetros importantes para la evaluación del impacto glicémico de los carbohidratos de la dieta (Di Pede *et al.*, 2021)

II.3.4 Índice glicémico

Los carbohidratos son la fuente principal de energía en la dieta humana, siendo sus principales fuentes los contenidos en los cereales, tubérculos y leguminosas (FAO, Food Outlook-Biannual Report on Global Food Markets, 2017). El índice glicémico (IG) es una herramienta para cuantificar el aumento del nivel de glucosa en la sangre después de consumir un alimento que dentro de su composición estén los carbohidratos. El IG se define como el área incremental bajo la curva de respuesta de glucosa en sangre (IASUC), después de dos horas de la ingestión de un alimento con una cantidad de carbohidratos disponibles, expresado como el porcentaje de la IAUC después del consumo de una comida (Jenkins *et al.*, 1981; Willett, Manson, & Liu, 2002). Estudios posprandiales realizados en poblaciones sanas y con diabéticos (enfermedad crónica-degenerativa) mostraron que, luego de consumir pasta, la respuesta posprandial fue menor en comparación con otros productos derivados del trigo como el pan, en virtud de su estructura física y densa de la pasta seca y la red de gluten que se encuentra alrededor de sus gránulos de almidón (Abdel-Aal & Hucl, 2002; Petitot, Abecasssis, & Micard, 2009).

II.3.5 Pasta de leguminosas

La pasta ha sido reconocida como un vehículo adecuado de nutrientes y compuestos bioactivos según la Organización Mundial de la Salud (OMS, por sus siglas en inglés) y la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA, por sus siglas en inglés) (Chillo, Suriano, & Lamacchia, 2009). Las primeras investigaciones en la formulación de pastas integrales mostraron que contienen niveles superiores de vitaminas, minerales y fibra dietaria en comparación con la pasta tradicional. La fibra de los cereales es una buena fuente de compuestos antioxidantes, principalmente los compuestos fenólicos como el ácido ferúlico y ácido cafeico, ya que estos tienen el potencial de ser liberados en el colon después de que la fibra es hidrolizada por la microbiota colónica (Hirawan *et al.*, 2010). Fares *et al.*, (2010) desarrollaron una pasta

con sémola enriquecida con salvado de trigo, reconocida por su capacidad antioxidante, útil para la potencial prevención de enfermedades crónico-degenerativas asociadas al estrés oxidativo. Los autores también reportaron una reducción del contenido de compuestos fenólicos tras la cocción, pero, presentan un incremento en su capacidad antioxidante *in vitro* debido al efecto extractivo de la cocción sobre compuestos como el ácido ferúlico (Fares *et al.*, 2010).

Las leguminosas son fuente de fibras, proteínas y minerales, y también contienen compuestos bioactivos como polifenoles (Ganesan & Xu, 2017b; Rybiński *et al.*, 2018), de los cuales los principales son: ácidos fenólicos, flavonoides como antocianinas, y taninos condensados como las proantocianidinas (Rybiński *et al.*, 2018). Por su contenido de compuestos con efectos saludables se han propuesto las harinas de leguminosas como ingredientes para producir alimentos con un valor agregado (Organisation International Pasta, 2022). Las harinas de leguminosas son ingredientes sin gluten, por lo que también se pueden utilizar para mejorar las propiedades nutricionales e incursionar en el mercado de productos formulados sin gluten (GF) (Giacco, Vitale, & Riccardi, 2016), sumado al bajo índice glucémico que presentan (Organisation International Pasta, 2022).

Se han publicado estudios sobre el uso de harinas de leguminosas para fortificar pastas como el espagueti, utilizando harinas de chicharo, verde y amarillo; lentejas y garbanzo (Zhao *et al.*, 2005; Petitot *et al.*, 2010), así como fortificación de pasta utilizando chicharos y habas (Petitot *et al.*, 2010). Con la intención de aumentar el valor nutricional de las pastas, se ha utilizado el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) por ser una fuente abundante de proteínas y carbohidratos como almidón y no almidón (fibra dietética: fibra soluble e insoluble y oligosacáridos, entre otros) y numerosos tipos de fitoquímicos (Bravo *et al.*, 1998; Mojica, Chen, & González, 2015).

Las mezclas de harina de frijol común con semola de trigo en espaguetis mejoran la calidad de cocción y el contenido de furosina, esta mejora en los espaguetis aumenta cuando la proporción de harina de frijol es del 45 % , también se observa una mejora el porcentaje de proteína (26.69 %). La producción de espaguetis compuestos

con harina de frijol común es una buena alternativa para aumentar la calidad nutricional, teniendo un uso potencial como alimento funcional (Gallegos-Infante *et al.*, 2010).

Los almidones nativos de las leguminosas son menos digeribles que los almidones de cereales o raíces nativos (Socorro *et al.*, 1989). Se ha reportado estudios de la digestión *in vitro* del almidón de leguminosas y la formación de almidón resistente (RS) durante la cocción y almacenamiento de productos alimenticios a base de leguminosas (Osorio-Díaz *et al.*, 2008). El alto contenido de RS en las leguminosas puede llegar a ser del 30 a 50 % en porcentaje de peso seco en almidón y estos porcentajes varían dependiendo de la especie (Miranda-Villa *et al.*, 2013).

Si más consumidores aprenden sobre los beneficios nutricionales que les da comer frijoles secos, las industrias de alimentos buscarían expandir el uso de frijoles en productos alimenticios produciendo harina (Lascialfari, Magrini, & Triboulet, 2019). Es importante mencionar que las técnicas de procesamiento influyen en las propiedades fisicoquímicas de los frijoles (Golay *et al.*, 1986) pues la harina que se genera a partir de frijoles cocidos, tiene en su mayoría paredes celulares intactas, en comparación con las harinas de semillas crudas que tienen paredes celulares rotas (Luhovyy *et al.*, 2017) y los polifenoles en las paredes de las semillas de frijoles son factores importantes que cambian la apariencia, la funcionalidad y la calidad nutricional de la harina de frijol después del procesamiento (Giusti *et al.*, 2019).

II.4 Métodos de cocción

Para poder ser consumidas las leguminosas por los humanos se requieren de someterlas a una serie de procesos culinarios y tecnológicos que puedan mejorar su valor nutricional y eliminar compuestos químicos indeseables como los denominados “compuestos antinutricios”. La aplicación de los métodos de cocción debe garantizar la disminución considerable de los compuestos antinutricios que se encuentran en las semillas crudas, además de mejorar la textura, la palatabilidad y el valor nutritivo debido a la gelatinización del almidón y la desnaturalización de las proteínas, contribuyendo además a incrementar la biodisponibilidad de algunos

nutrientes e inactivar compuestos lábiles tóxicos y enzimas (Hernández & Escudero, 1993; Klamczynska, Czuchajowska, & Baik, 2001). Dentro de los métodos más aplicados en el frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) se encuentran: el remojo, la cocción en agua, fermentación, germinación, cocción bajo presión y tostado, por mencionar algunos (Klamczynska, Czuchajowska, & Baik, 2001). El remojo en agua de los frijoles forma parte integral de los métodos térmicos que se le pueden aplicar a estas leguminosas y es una preparación previa que disminuye el tiempo de cocción y elimina factores que provocan las flatulencias (Reyes & Paredes, 1993), además de facilitar la absorción de agua, ablanda los granos y mejora su textura. Desde el remojo, el agua utilizada no se desecha, pues este aspecto es determinante en la calidad nutrimental de los frijoles, debido a que algunas vitaminas solubles y minerales pueden perderse en el agua de remojo, si bien esta agua puede contener ciertos niveles de compuestos antinutricios no deseables (Reyes & Paredes, 1993). Es importante destacar que, a pesar de ser catalogados como “antinutricios”, algunos de estos compuestos, en dosis determinadas, pueden tener efectos benéficos saludables en múltiples condiciones de salud.

II.4.1 Cocción tradicional del frijol

El método de cocción de los frijoles es un proceso que desencadena cambios deseables en la textura y sabor. Asimismo, la cocción de las leguminosas aumenta la calidad proteica, la digestibilidad de las proteínas y los carbohidratos, al mismo tiempo, inactiva algunos compuestos antinutricios como las lectinas, los inhibidores de tripsinas y los taninos (Klamczynska, Czuchajowska, & Baik, 2001). El contacto de los frijoles con el agua caliente o fría puede generar cierta lixiviación de nutrientes solubles en agua, lo que explica los contenidos de macromoléculas reportados en el agua de cocción de los frijoles (carbohidratos: 6.96-10.65 % y proteínas: 1.2-2.1 %). El calor destruye algunos compuestos termolábiles como inhibidores de proteasas, hemaglutininas y desnaturaliza proteínas, produciendo incluso se cierto

grado de hidrólisis, por lo que excesos de cocción pueden ser adversos para el valor nutritivo de las proteínas, al destruir algunos aminoácidos esenciales como lisina y cisteína (Serrano & Goñi, 2004). Los procesos de cocción y retención de componentes bioactivos muestran que en una dieta saludable pueden encontrarse cantidades importantes de compuestos bioactivos, pero es importante darle valor también al modo como se preparan los alimentos.

II.4.2 Tostado directo a comal

En este proceso el grano o semilla está en contacto directo en una superficie caliente (comal) por un tiempo menor a los 20 min o hasta que la mayor parte de las semillas han tomado un color tostado. Es importante mantener en movimiento constante de la semilla sobre la superficie para evitar que se queme de un lado y garantizar una cocción pareja de la semilla. Los factores importantes por considerar es la temperatura (>90 °C), tiempo y la cantidad de semilla que es expuesta en la superficie (Roy *et al.*, 2021).

Uno de los procesos químicos que se desarrollan durante el tostado es la reacción de Maillard u “oscurecimiento no enzimático”, que involucra la interacción química entre azúcares reductores (cetosa o aldosa) y grupos aminos libres provenientes de aminoácidos o proteínas, los compuestos químicos formados son “productos de Maillard” tras el tratamiento térmico de semillas enteras y granos (Zielinski *et al.*, 2009). Estos productos además de formar precursores de color, aroma y sabor en los alimentos también colaboran en la formación de compuestos beneficiosos con propiedades antioxidante, antialérgicas, antimicrobianas (citotóxicas) (Silván, van de Lagemaat, Olano, & Del Castillo, 2006).

Las temperaturas altas aceleran todos los cambios que sufren los monosacáridos en condiciones, de pH ácido o alcalino, pero a pH neutro catalizan las reacciones de caramelización y de oscurecimiento no enzimático. La formación de acrilamida aumenta con el aumento de pH mediante el uso de bicarbonato o carbonato de amonio como leudante del pan (Amrein, Schönbacher, Escher, & Amadó, 2004) y

viceversa (Rydberg *et al.*, 2003). También se forma la acrilamida en alimentos tratados térmicamente lo cual fue reconocido de forma extensiva a partir de 2002 (Tareke *et al.*, 2002), descubriéndose que su formación es a partir de asparagina y un compuesto carbonilo a través de reacciones de pardeamiento de Maillard durante el proceso térmico de los alimentos (Mottram, Wedzicha, & Dodson, 2002; Stadler *et al.*, 2002). Se han investigado varias vías e intermediarios para la formación de acrilamida, como las bases de Schiff, productos de Amadori descarboxilados, desaminación (Yaylayan, Wnorowski, & Perez, 2003) y aldehídos de Strecker (Mottram, Wedzicha, & Dodson, 2002). Sin embargo, el principal producto de la descomposición térmica de la asparagina es la maleimida por la rápida reacción de ciclación intramolecular que impide la formación de acrilamida, y la asparagina en presencia de azúcares reductores genera acrilamida además de maleimida (Yaylayan, Wnorowski, & Perez, 2003). Los alimentos ricos en almidón cuando son sometidos a procesos culinarios a altas temperaturas pueden formar acrilamida, por lo que dentro de sus principales fuentes se encuentran los productos derivados de las papas como papas (fritas, horneadas o asadas), las croquetas de todo tipo, el café, chocolate, dulces de azúcar, pan de molde, galletas, tostadas, semillas tostadas y pan crujiente. La acrilamida y su metabolito glicidamida son genotóxicos y carcinogénicos. La EFSA (European Food Safety Authority) en el año 2015 evaluó 43 419 alimentos de 24 países y 6 asociaciones de alimentos, donde clasificaron por niveles del más alto al bajo de acrilamida, y se encontró, que en el nivel más alto está el sustituto de café (1499 µg/kg); en el nivel medio se encuentran, al café (522 µg/kg), papas fritas y snack de papa (389 µg/kg) y nivel bajo están las nueces y semillas (93 µg/kg), los cereales procesados para bebé (73 µg/kg) y el pan con (24 µg/kg). Con estudios realizados se pudo estimar los límites permitidos para efectos carcinogénicos son de 0.17 mg/kg de peso corporal/día (EFSA, 2015).

II.4.3 Extrusión

El proceso que sufre un material alimenticio que fluye a una o diversas condiciones de mezclado, calentamiento y cizallamientos se le llama extrusión. Las extrusoras de alimentos se pueden visualizar como un dispositivo de alta temperatura y corta duración (HTST, por sus siglas en inglés) que pueden transformar una variedad de materias primas en productos intermedios y terminados. Durante la extrusión, la temperatura de cocción puede estar en el rango de 180 a 190 °C, y el tiempo de residencia suele ser entre los 20 a 40 segundos, lo cual depende del tiempo de residencia y la velocidad del eje (Riaz, 2006). La extrusión, al aplicar energías térmicas a las materias primas alimenticias, da como respuesta cambios estructurales, químicos y nutricionales como la degradación de compuestos antinutricios y contribuye a incrementar la bioaccesibilidad de algunos compuestos bioactivos, es decir contribuyen a mejorar su capacidad de atravesar el epitelio intestinal (Herrera-Cazares *et al.*, 2017).

La tecnología de extrusión brinda la oportunidad de procesar una gran variedad de productos, simplemente haciendo un cambio mínimo de las condiciones de procesamiento en la máquina. El proceso es energéticamente eficiente y de bajo costo, comparado con otros procesos, pues la cocción se hace en corto tiempo y menor destrucción de los componentes sensibles al calor (Riaz, 2006).

Un extrusor puede estar diseñado con uno o dos tornillos que giran en un barril cilíndrico, un alimentador en el extremo de entrada y una boquilla en el extremo de descarga y algunas otras partes más que se observan en la **Figura 6**. El extrusor de tornillo simple es un método de cocción recomendado para productos como harinas, debido a su bajo costo y la transformación a tiempos cortos (Leonard *et al.*, 2019).

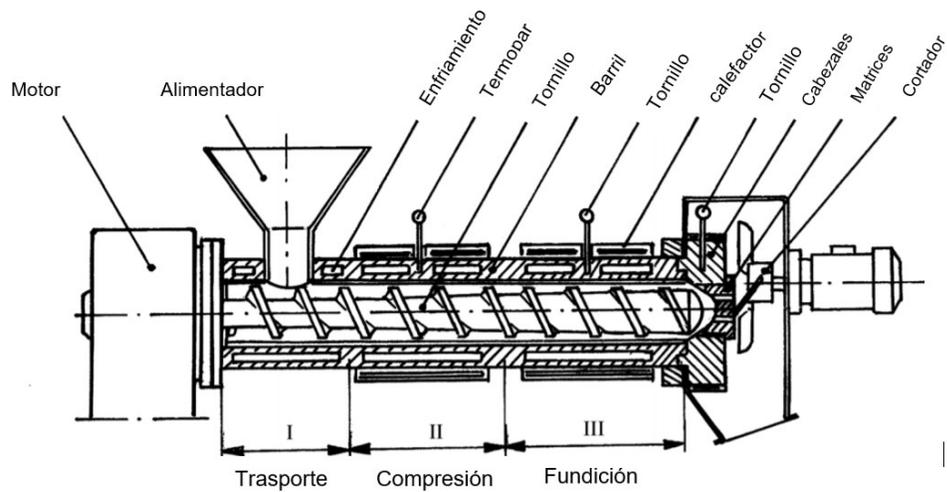


Figura 6. Extrusor y sus secciones (Moscicki & Zuilichem, 2011).

En términos generales, la cocción por extrusión de materias primas vegetales se ocupa de procesar material molido en condiciones barométricas, con ayuda de la energía de corte ejercida por el tornillo giratorio y el calentamiento adicional del barril. El material alimenticio es calentado hasta el punto de fusión o plastificación, cambiando su estado reológico, y se trasporta a alta presión a través troqueles donde el producto se expande hasta su forma final. Al final, se espera un cambio de las propiedades fisicoquímicas de los extruidos en comparación de las materias primas utilizadas (Moscicki & Zuilichem, 2011).

La extrusión es utilizada en productos como cereales, snacks, bases para bebidas, pasta, proteína vegetal texturizada, galletas, artículos de confitería, sopas secas, entre otros (Alam *et al.*, 2016). La extrusión provoca cambios estructurales que ofrecen una mejor calidad nutricional, como es la gelatinización de los almidones a niveles bajos de humedad de 12 a 20 % comparado con una cocción convencional y a altas temperaturas (>160 °C), se incrementa el contenido de fibra dietaria total y se aumenta la formación de almidón resistente (Singh, Gamlath, & Wakeling, 2007a). Por otro lado, permite la inactivación de algunos compuestos antinutricios como los inhibidores de tripsina, hemaglutininas, taninos y fitatos, esteriliza el producto terminado y permite conservar olores y sabores propios del alimento

(Bhandari, D'Arcy, & Young, 2001). También es posible la desnaturalización de las proteínas con la extrusión ayudando a incrementar la digestibilidad de estas e incrementando su calidad nutricional (Singh, Gamlath, & Wakeling, 2007a).

III. JUSTIFICACIÓN

Las tendencias en los nuevos mercados esta posicionados en alternativas saludables y en productos libres de gluten, por el claro aumento de las afecciones relacionadas con la ingesta del gluten, como la enfermedad celiaca, intolerancia al gluten y la sensibilidad al gluten, que dañan la funcionalidad del intestino delgado, ocasionado problemas gastrointestinales. También la dieta de la población mexicana ha cambiado, favoreciendo el consumo de alimentos con alto valor energético como: botanas, panes dulces y bebidas azucaradas con bajo aporte nutricional y de fácil accesibilidad. Este comportamiento puede tener una relación estrecha con la falta de tiempo que tienen las familias para prepararlos y su facilidad de acceso. Estos cambios dietarios han favorecido el consumo frecuente de las pastas hasta 3 veces por semana, alcanzando alto niveles nacionales de consumo (8.7 kg *per capita* al año) y su inclusión dentro de la canasta básica de consumo. En este momento, existe un interés por el estudio de alimentos con un alto contenido en antioxidantes naturales y fibra, como son los compuestos fenólicos y los oligosacáridos, los cuales están presentes en las legumbres y su consumo se ha asociado con una disminución en el riesgo a padecer enfermedades crónico-degenerativas no transmisibles entre las que destacan la obesidad, sobrepeso, diabetes tipo 2, enfermedades cardiovasculares y cáncer. Por lo que el objetivo de esta propuesta fue el desarrollo, caracterización química y nutracéutica de raviolos de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) variedades Peruano y Negro. La propuesta fue el uso de tres métodos de cocción como son: la cocción tradicional, tostado a comal directo y extrusión; ésta última como una tecnología emergente para el desarrollo de harina de frijol de las variedades Peruano y Negro. Igualmente, se propuso la elaboración de una harina de frijol crudo de cada variedad para observar

los cambios, su caracterización química y nutracéutica. Finalmente, se buscó el desarrollo de una formulación de un raviol a partir de las harinas cocidas, y comparar su composición química y nutracéutica con un raviol comercial de harina enriquecida con huevo.

IV.OBJETIVOS

IV.1 Objetivo general

Formular y caracterizar química y nutracéuticamente ravioles elaborados a base de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.).

IV.2 Objetivos Específicos

- Determinar una formulación de pasta para raviol a base de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad Peruano y Negro.
- Caracterizar química y nutracéutica de los ravioles a base de frijol común y compararlos con ravioles comerciales.
- Evaluar las propiedades de textura y realizar análisis microbiológicos a los ravioles a base de frijol común.
- Evaluar sensorialmente los ravioles elaborados a base frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.).

V. ESTRATEGIA EXPERIMENTAL

En la **Figura 7**. Se presenta el diagrama de la estrategia experimental llevada a cabo en el presente trabajo.



Figura 7. Estrategia experimental.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

VI.1 Materiales

VI.1.1 Reactivos

Los reactivos de uso general fueron adquiridos en Sigma-Aldrich o en JT Baker: acetonitrilo, ácido acético, sulfato de sodio (Na_2SO_4) ácido clorhídrico (HCl), ácido sulfúrico (H_2SO_4), ácido bórico (H_3BO_3) rojo de metilo, verde de bromocresol, etanol, éter de petróleo, Folin-Ciocalteu, hidróxido de sodio (NaOH), hidróxido de potasio (KOH) metanol, α -amilasa, tripsina, quimotripsina, peptidasa, proteasa, amiloglucosidasa, sulfato de cobre (CuSO_4), persulfato de potasio ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$), carbonato de sodio (Na_2CO_3) agua destilada, agua grado HPLC, (\pm)-catequina, ácido gálico, vainillina, rutina, trolox, ácido 2,2-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6) sulfónico (ABTS), 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH), N- α -benzoyl-arginine-p-nitroanilide (BAPNA) .

VI.1.2 Materia prima

La matriz alimentaria de esta investigación que se utilizó fue frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) de las variedades Peruano (Azufrado Higuera) del estado de Sinaloa y Negro, cosecha del año 2020 de ambas variedades.

VI.1.3 Harina de Frijol

VI.1.3.1.1. Harina de frijol por extrusión

Para la obtención de las harinas por esta técnica, se seleccionaron frijol de las dos variedades (Peruano y Negro), mediante la observación y exclusión de semillas que presenten malformaciones, residuos o cualquier tipo de contaminación. Se

evaluaron tres métodos de cocción de los granos usando las tecnologías de un método tradicional, tostado a comal directo y con apoyo de una tecnología emergente con extrusión para la obtención de las harinas de las dos semillas en evaluación para la producción de los ravioles.

Para la extrusión del frijol se llevó a cabo siguiendo la metodología descrita por Sánchez-Quezada (2018) con modificaciones. Para ello, los granos de frijol se sometieron a remojo por 14 horas (Peruano) y 16 horas (Negro) a una relación de 1:3 (v/v) con agua destilada y se almacenaron a 2 °C hasta su uso. A las semillas sin descascarillar se les determinó la humedad relativa. Seguido de esto, las semillas se sometieron a extrusión utilizando un extrusor de tornillo sencillo con una relación de 1:1, diámetro de 1 pulgada acoplado a un dado con orificio de 5 mm. Se utilizó una temperatura >130 °C. El proceso de secado fue en una estufa a 45 °C por 12 horas. Finalmente, el producto resultante se molió usando un molino de café (80393, Hamilton Beach, Glen Allen, VA, Estados Unidos) y se pasaron por una malla de 0.250 mm (malla No. 60).

VI.1.3.1.2 Harina de frijol por método tradicional

Se realizaron las harinas de los frijoles Peruanos (Azufrado Higuera) y Negro por separado, siguiendo el mismo método. Para la cocción por el método tradicional se seleccionaron los frijoles, se separaron las impurezas de las semillas de frijol utilizando una malla de 5 mm y las de mayor tamaño se separaron manualmente, se lavaron y se remojaron en agua destilada (1:5) por un tiempo de 12h (Peruano) y 14 h (Negro). Posteriormente se llevaron a cocción de 2 h (Peruano) y 2.5 h (Negro) a una temperatura de 95°C (Aparicio-Fernández *et al.*, 2005). Los frijoles cocidos se secaron en una estufa de aire caliente, hasta que alcanzaron una humedad inferior de 15 % para disminuirla y facilitar su molienda. Las semillas se molieron en un molino y se pasaron por un tamiz 4.76 mm (malla No.4) y 2.38 mm (malla No.8), y la harina resultante se molieron nuevamente en un molino de café (Hamilton Beach), hasta pasar por una malla de 0.250 mm (malla No. 60) (Ruiz-

Ruiz, *et al.*, 2012), para garantizar que sea homogéneo el tamaño de las partículas de la harina. Se colocaron en bolsas de polietileno con cierre hermético y se cubrieron de la luz con aluminio y se almacenaron etiquetadas a 4 °C hasta su uso. Cada harina se elaboró por separado.

VI.1.3.1.3 Harina de frijol por tostado

Las semillas limpias se llevaron a tostado directo en un comal a una temperatura de 80 a 90 °C, en un tiempo de 20 min con movimiento constante para no dejar quemar las semillas de un lado, y se dejaron enfriar por un tiempo de 30 min (Roy *et al.*, 2021). Las semillas tostadas se molieron en un molino, se pasaron por un tamiz 4.76 mm (malla No.4) y 2.38 mm (malla No.8) y la harina resultante se volvió a moler en un molino de café (Hamilton Beach), hasta pasar por una malla de 0.250 mm (malla No. 60) (Ruiz-Ruiz, *et al.*, 2012). Finalmente, se colocaron en bolsas de polietileno con cierre hermético y se cubrieron de la luz con aluminio y se almacenaron etiquetadas a 4 °C hasta su uso. Cada harina se elaboró por separado.

VI.2 Métodos

VI.2.1 Formulación de ravioles y relleno

En la Norma Oficial Mexicana NOM. F-23-S-1980, “pasta de harina de trigo y/o sémola para sopa y sus variedades” se define la pasta como el producto elaborado por la desecación de las figuras obtenidas del amasado de sémola y/o harina de trigo, agua potable, ingredientes opcionales (apartado de la norma 5.6) como sémola, harina bromatada, huevo deshidratado o sazonadores y aditivos permitidos (apartado 5.7) como fosfato disódico , monoestearato de glicerilo En el apartado 3.2 se menciona la pasta con huevo, y su composición debe tener no menos de 4.2 % de sólidos de huevo entero o de yema de huevo o bien 16.8 % de huevo entero líquido o de yema de huevo líquida (véase A.5) y los aditivos permitidos (5.7) exceptuando los colorantes artificiales y naturales (NOM-F-23-S, 1980).

Las proporciones realizadas se muestran en el **Cuadro 6**. El procesamiento se realizará de acuerdo con las buenas prácticas de higiene para el proceso de alimentos, según la norma oficial mexicana NOM-251-SSA1-2009.

Cuadro 6. Formulación preliminar (porcentaje) de la pasta de raviolos a base de frijol común de las variedades Peruano y Negro.

Formulación	Harina por Extrusión (HE)	Harina tradicional (HT)
Harina de frijol Peruano	64	64
Mucilago de chíá	15	15
sal	0.5	0.5
Aceite de oliva	10	10
Almidón de maíz	9	9
Lecitina	1.5	1.5
Agua	10	10
Total	100	100

Agregando un 35 % de humedad con adecuaciones (Wiesinger *et al.*, 2020)

Formulación	Harina por Extrusión (HE)	Harina tradicional (HT)
	%	%
Harina de frijol negro	64	64
Mucilago de chíá	15	15
sal	0.5	0.5
Aceite de oliva	10	10
Almidón de papa	5	5
Lecitina	4.5	4.5
Agua	10	10
Total	100	100

Agregando un 35 % de humedad con adecuaciones(Wiesinger *et al.*, 2020)

VI.2.2 Relleno de raviol

El relleno es una propuesta de elaboración casera con un relleno de frijol sin agregados para llevar a cabo las evaluaciones necesarias.

Formulación	Cantidades
Harina de frijol	100 %

(sin referencia)

VI.2.3 Caracterización química

Para la caracterización química de las harinas de frijol y el producto (raviol) se evaluaron mediante los métodos de la AOAC (2002) para: humedad (método 925.10), cenizas (método 923.03), lípidos (920.39), proteína (método 984.13) y carbohidratos por diferencia.

VI.2.3.1 Determinación de humedad

Se pesaron 3 g de muestra en un crisol previamente puesto a peso constante. Posteriormente, el crisol se introdujo en una estufa a una temperatura de 130 °C durante 3 h. Enseguida se colocó en un desecador por 40 min para que enfríe, después se pesó y se calculó el porcentaje de humedad con la siguiente ecuación humedad (método 925.10):

$$\% \text{ humedad} = \frac{(P_1 - P_2)}{P_3} \times 100$$

Dónde:

P₁ = peso del recipiente con la muestra humedad (g)

P₂ = peso del recipiente con la muestra seca (g)

P₃ = peso de la muestra (g)

V.2.3.2 Determinación de cenizas

Se pesaron 3 g de muestra en un crisol previamente puesto a peso constante. Se metió el crisol en una mufla a una temperatura de 550-600 °C durante 4 h o hasta que las cenizas se tornen blancas. Posteriormente, se pasó a enfriar a un

deseCADador. Transcurrido el tiempo se pesó el crisol con las cenizas y se calculó su porcentaje con la siguiente ecuación (método 923.03):

$$\% \text{ Cenizas} = \frac{(P_1 - P_2)}{P_3} \times 100$$

Dónde:

P₁ = peso final (g)

P₂ = peso crisol (g)

P₃ = peso de la muestra (g)

VI.2.3.3 Determinación de lípidos

Se pesaron 3 g de muestra en base seca en cartuchos de celulosa. Posteriormente, se colocaron en el compartimento de extracción goldfish, el cual se ensambló en un vaso de fondo plano a peso constante (registró del peso inicial) y se añadieron 100 mL de éter de petróleo (el solvente debía cubrir la muestra y observar un efecto de reflujo de la muestra). Se mantuvo la extracción en un flujo de 10 reflujos por hora durante 4 h en continuo. Al finalizar el tiempo, se retiró el vaso y se secó en la estufa a 100 °C para eliminar residuos de solvente y humedad. Posteriormente se dejó atemperar en un desecador y finalmente se registró su peso. Se calculó el porcentaje de lípidos con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ lípidos} = \frac{(P_1 - P_2)}{P_3} \times 100$$

Dónde:

P₁ = peso final (g)

P₂ = peso del matraz (g)

P₃ = peso de la muestra (g)

VI.2.3.4 Determinación de proteínas

En la digestión ácida de las muestras se pesó 1 g de muestra desgrasada y se colocó en un tubo de digestión Kjeldahl, así como también los siguientes catalizadores (pastilla): 3.5 g de Na₂SO₄, 0.4 g de CuSO₄, y 15 mL de H₂SO₄ concentrado. Se ingreso otro tubo (blanco) sin añadir la muestra (agua destilada, 1 mL). Los tubos se colocaron en la plancha digestora calentando gradualmente, hasta alcanzar los 400 °C, donde a través del tiempo la muestra contenida en el tubo se tornó a un color verde-turquesa. Se dejó enfriar (2 h), se le agregaron 100 mL de agua destilada y se pasaron al destilador.

Para la destilación alcalina se adicionaron 50 mL de NaOH al 40 % a los tubos Kjeldahl. Por otra parte, se adicionaron a un matraz Erlenmeyer de 250 mL: ácido bórico al 0.2 N (25 mL), indicadores colorimétricos (rojo de metilo y verde de bromocresol) y el destilado alcalino de la muestra digerida. Se realizó una titulación volumétrica con HCl (0.1 N) valorado, cuyo volumen se dejó de añadir una vez hubo un cambio de color de verde turquesa a rosa mexicano. Para finalizar, se determinó el nitrógeno total y se multiplicó por un factor de conversión (6.25) para obtener el porcentaje de proteína presente. A continuación, se presentan las ecuaciones que se utilizaron para hacer la determinación (método 984.13).

$$\% \text{ Nitrógeno} = \frac{(V_1 - V_2) * C}{M} \times 1.401$$

$$\% \text{ Proteína} = \% \text{ Nitrógeno} \times 6.25$$

Dónde:

V₁ = volumen de HCl gastado para titular la muestra (ml)

V₂ = volumen de HCl gastado para titular la solución blanca (ml)

C = concentración del HCl (N)

M = peso de la muestra (g)

VI.3.2.5 Determinación de carbohidratos

La determinación de carbohidratos (%) fue calculado como la diferencia del porcentaje obtenido de los otros componentes mediante la siguiente ecuación:

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

VI. 2.4 Caracterización nutracéutica

VI.2.4.1 Fibra total dietaria

Para obtener el porcentaje de fibra dietaria total se determinó mediante la suma de la fibra soluble e insoluble, siguiendo fórmula:

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

VI.2.4.1.1 Determinación de fibra insoluble

La fibra insoluble se determinó siguiendo el método propuesto por Shiga *et al.*, (2003). Se pesaron 3 g de muestra (250 mm) y desgrasada, se colocó en un matraz Erlenmeyer (250 mL) protegiéndolo de la luz y se le añadieron 50 mL de solución amortiguadora de fosfatos (0.08 mM, pH 6) y 100 µL de α-amilasa. Los matraces sellados se metieron a incubar en un baño María a 95 °C durante 30 minutos, con agitación constante. Una vez que se retiró del baño María, se enfriaron a temperatura ambiente, se ajustó el pH a 7.5 con NaOH 0.275 N. Consecutivamente con el pH ya ajustado se adicionaron 100 µL de proteasa (5 mg/mL) y se incubó en baño María a 60 °C por 30 min con agitación continua. Transcurrido el tiempo, se dejó enfriar y se ajustó el pH a 4 con HCl 0.275 N. Enseguida, se agregaron 300 µL de amiloglucosidasa y se incubó por 30 min a 60 °C con agitación continua. Una vez terminada la incubación, se enfrió y filtró con papel Whatman no. 4 (peso constante) en un matraz Kitasato con un embudo Büchner, al vacío. Se realizaron 2 lavados con 15 mL de agua destilada a una temperatura de 60°C y seguido dos

lavados 2 más con 15 mL de etanol (80 % v/v). El papel filtro con el sólido filtrado se secó en estufa a 55 °C durante 24 h, y finalmente se registró su peso. La fibra insoluble fue lo que se quedó retenido en el filtro después del tratamiento enzimático y se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ fibra insoluble} = \frac{P_2 - P_1}{P_3} \times 100$$

P₁ = peso del papel filtro (g)

P₂ = peso final del papel con el sólido filtrado (g)

P₃ = peso de la muestra (g)

VI.2.4.1.2 Determinación de fibra soluble

Siguiendo la metodología de la determinación de fibra insoluble de Shiga *et al.* (2003), se conservó la solución filtrada y se le agregó un volumen igual de etanol al 80 % y se dejó reposar de 24 a 72 h. Posteriormente, se filtró en papel Whatman no. 42 (peso constante). Seguido de esto se realizaron 2 lavados con 15 mL de etanol al 80 % y 2 lavados con 15 mL de acetona. Finalmente, se dejó secar el papel filtro 60°C por 24 h y se registró su peso. El porcentaje de fibra soluble se obtuvo de la siguiente manera:

$$\% \text{ fibra soluble} = \frac{P_2 - P_1}{P_3} \times 100$$

P₁ = peso del papel filtro (g)

P₂ = peso final del papel con el sólido filtrado (g)

P₃ = peso de la muestra (g)

VII.2.4.2 Extracción de compuestos fenólicos

La extracción de los compuestos fenólicos se obtuvo mediante el método descrito por Cardador-Martínez *et al.*, (2002). Se pesó 1 g de muestra previamente molida finamente y se colocó en un matraz Erlenmeyer (150 mL), protegiéndolo de la luz,

al cual se le agregaron 10 mL de metanol y se mantuvo en agitación utilizando un agitador magnético durante 24 h a temperatura 20 °C. Posteriormente, el contenido se centrifugó a 7500 x g por 18 min (4 °C). El sobrenadante, fue almacenado a 4 °C protegiéndolo de la luz para su posterior utilización.

VI.2.4.3 Cuantificación de compuestos fenólicos

VI.2.4.3.1 Cuantificación de compuestos fenoles totales

Para la cuantificación de fenoles totales se utilizó la metodología desarrollada por Singleton *et al.* (1965). Con 500 µL del extracto metanólico, 250 µL de agua grado HPLC y 125 µL del reactivo de Folin-Ciocalteu (1:1) a un vial ámbar, enseguida se agitó en vórtex por 5 min. Consecutivamente se agregaron 625 µL de Na₂CO₃ (70 g/L) y se incubó por 2 h en la oscuridad. Las muestras se transfirieron a una microplaca de 96 pozos (250 µL por pozo). La cuantificación se realizó en un espectrofotómetro Multiskan ASCENT a una longitud de onda de 760 nm. Se realizó una comparación de los resultados obtenidos con una curva de calibración de ácido gálico (0-80 µg/mL). El contenido de fenoles totales se expresó como mg equivalentes de ácido gálico por gramo de muestra.

VI.2.4.4 Cuantificación de flavonoides

La cuantificación de flavonoides se desarrolló por el método descrito por Oomah *et al.*, (2005). Se mezclaron 50 µL de extracto metanólico con 180 µL de agua destilada y 20 µL de una solución de 2-aminoetildifenilborato (10 g/L). Se utilizó un espectrofotómetro Multiskan ASCENT a una longitud de onda de 404 nm. Las absorbancias que se obtuvo se compararon con una curva estándar de rutina. El contenido de flavonoides se expresó como miligramos equivalentes de rutina por gramo de muestra.

VI.2.4.5 Cuantificación de taninos condensados

Se realizó por la metodología desarrollada por Feregrino-Pérez *et al.* (2008), adaptado a microplaca. En una microplaca de 96 pozos se colocaron 50 μL de extracto metanólico por triplicado. Posteriormente, se adicionaron 200 μL de vainillina (0.5 % vainillina, 4 % HCl en metanol). Los taninos condensados se cuantificaron a una longitud de onda de 495 y 540 nm en el espectrofotómetro. La concentración de los taninos se calculó a partir de una curva de calibración con (+)-catequina a concentraciones de 0.1-0.8 mg/mL. Se reportó como miligramos equivalentes de (+)-catequina por gramo de muestra.

VI.2.4.7 Capacidad antioxidante

VI.2.4.7.1 Capacidad antioxidante por el método de inhibición de 2,2-difenil-1-picrilhidrazil (DPPH).

El método utilizado para medir la capacidad antioxidante fue el descrito por Fukumoto y Mazza (2000). En una microplaca se añadieron 20 μL de extracto metanólico y 200 μL de solución de DPPH. Se tomaron lecturas a 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80 y 90 min a 520 nm en un espectrofotómetro UV-vis. La microplaca se mantuvo cubierta, a temperatura ambiente. Los valores se compararon contra una curva de calibración con trolox (0-800 $\mu\text{mol/g}$) como estándar. Los resultados se expresaron como μmol equivalente de trolox/g de muestra. Los datos se expresaron como μmoles equivalentes de Trolox/g de muestra seca (TEAC).

VI.2.4.7.2 Capacidad antioxidante por el método de inhibición del ácido 2,2-azino-(bis 3-etilbenzotialina-6-sulfónico) (ABTS)

La capacidad antioxidante se midió por el método descrito por Nenadis *et al.*, (2004). Se preparó una solución acuosa 7 mM de ABTS y una solución de $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ 140 mM. Con las soluciones anteriores, se preparó una solución con 5 mL y 88 μl respectivamente. La solución se dejó en reposo y protegida de la luz por 12 h para generar el radical. Finalizado el tiempo, se tomaron 500 μl de la solución y se le

agregaron 20-25 mL de etanol. La solución se leyó a una longitud de onda de 734 nm, esperando valores entre 0.7 y 1 de absorbancia. Posteriormente, en una microplaca se adicionaron 20 µl de muestra y un control con 20 µl de metanol. Seguido, se adicionaron 230 µl de ABTS a cada pozo. Los valores se compararon contra una curva de calibración usando trolox (0-800 µM/ ml) como estándar. Los resultados se expresaron como µmol equivalente de trolox/ g de muestra.

VI.2.5 Digestibilidad *in vitro*

VI.2.5.1 Determinación de almidón total

La determinación de almidón total se realizó con la metodología descrita por Goñi *et al.* (1997). Se adicionaron 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 ambiente 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, según lo requerido. Después, se adicionaron 60 µL de amiloglucosidasa y se incubaron a 60°C con agitación constante por 45 minutos. Una vez pasado el tiempo, las muestras se centrifugaron a 3000 g durante 15 min, el sobrenadante se recuperó en un matraz de 50 mL y se realizaron 2 lavados con 5 mL de agua destilada. 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 ecuación:

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

VI.2.5.2 Determinación de almidón disponible

La determinación de almidón disponible se llevó a cabo por la metodología propuesta por Goñi *et al.* (1997). Se pesaron 50 mg de muestra y se adicionaron 20 mL de agua en un matraz, el cual se agitó durante 10 min a temperatura ambiente. Inmediatamente, se cubrió el matraz con papel aluminio y se adicionaron 100 μ l de α -amilasa termoestable a la solución. El matraz se llevó a un baño a 95 °C con agitación constante durante 20 min. Al finalizar el tiempo, se dejó atemperar el matraz. El contenido del matraz se aforó a 100 mL. Después, en un tubo Eppendorf color ámbar se colocó 1 mL de solución amortiguadora de acetatos (pH 4.75 y 0.4 M), 25 μ L de amiloglucosidasa y 300 μ L de muestra. La solución resultante se llevó a incubar bajo agitación constante a 60 °C durante 30 min. Pasado el tiempo, se dejó atemperar el tubo y se centrifugó a 10000 rpm durante 5 min. Se realizaron 2 lavados de 1 mL con agua destilada. Los sobrenadantes se recuperaron y aforaron a 10 mL con agua. Las muestras se midieron con la siguiente fórmula.

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

VI.2.5.3 Determinación de almidón resistente

El almidón resistente se determinó por el método empleado por Saura-Calixto *et al.* (1993). Se tomaron 100 mg de fibra insoluble y se colocaron en un matraz Erlenmeyer de 50 mL. Posteriormente, se adicionaron 6 mL de KOH 2M. Esta solución se llevó a incubación a 25 °C con agitación continua durante 30 min. Inmediatamente, se adicionaron 3 mL de solución amortiguadora de acetato de sodio (0.4 M y pH 4.75), al matraz se le adicionaron 60 μ L de la enzima amiloglucosidasa y se llevó a incubación a 60 °C durante 30 min y con agitación continua. Finalizada la incubación, se dejó atemperar el matraz y el contenido se centrifugó a 10,000 rpm durante 15 min. El sobrenadante se recuperó y se lavó dos veces con 10 mL de agua HPLC con el precipitado. Con el sobrenadante colectado

se pasó al rotoevaporador hasta tener aproximadamente 5 mL para después ser aforado a 10 mL.

La lectura de la muestra se realizó con un kit de glucosa oxidasa/peroxidasa en donde a una microplaca se le colocaron 50 µL de la muestra o estándar y 100 µL del reactivo del ensayo (incluido en el kit). La microplaca se incubó por 30 min a 37 °C. Posteriormente, se adicionaron 100 µL de ácido sulfúrico concentración 12 N y se tomó la lectura a 540 nm. La curva para esta medición y para todas las de almidón se realizaron usando diferentes concentraciones de glucosa provenientes de una solución patrón incluida en el kit (1 mg/ml).

$$\% \text{ almidón resistente} = \frac{(\mu\text{g/ml de glucosa})(\text{volumen})(\text{dilución})(0.9)(100)}{\mu\text{g de muestra}}$$

VI.2.6 Hidrólisis enzimática y predicción del índice glucémico.

Se realizó una curva de calibración con un estándar de D-glucosa, tomando las concentraciones mostradas en el cuadro 6 y se midió la absorbancia a 510 nm.

Cuadro 6. Curva de calibración de glucosa.

Concentración	Estándar D-Glucosa (µL)	Agua destilada (µL)
10	10	990
20	20	980
40	40	960
60	60	940
80	80	920
100	100	900
120	120	880
140	140	860

La estimación del índice glucémico *in vitro* se determinó por triplicado para el raviol de harina extrudida de frijol Negro, raviol de harina y se tomó como alimento de referencia al pan blanco de caja. Las muestras se molieron y se pesaron 200 mg de muestra y se adicionaron 2 mL de agua destilada, donde se llevaron a ebullición 2 min. Posteriormente se adicionaron 5 mL de una solución de tampón de fosfato 0.1 M (pH 6.9) con agitación vigorosa. A continuación, se redujo el pH de la muestra hasta 2.5 con ácido fosfórico (1N), para después adicionar 0.2 mL de pepsina (250 mg/ml). Después se incubó a 37 ° C con agitación de 120 rpm durante 60 min.

Una vez pasado el tiempo de digestión, se ajustó el pH a 6.9 con KOH (Hidróxido de potasio al 20 %), se agregaron 0.3 mL de α -amilasa (125 mg/mL) y se adicionaron 6 mL de solución amortiguadora de fosfatos 0.1 M (pH 6.9), para volver a incubar la muestra 37 ° C, a 120 rpm durante 120 min, y se realizó la cinética de hidrólisis de glucosa. Se tomaron muestras al inicio de experimento (tiempo 0). Una vez puesta la muestra en incubación, se tomaron alícuotas (0.5 mL) a 15, 30, 60, 90 y 120 min. Cada alícuota se mezcló con 1.5 mL de una solución amortiguadora de acetato de sodio 0.4 M (pH 4,75). Después, se adicionaron 40 μ L de amilogucosidasa y se incubó a 50 ° C durante 30 min.

Pasado el tiempo de incubación, se ajustó el volumen final a 10 mL con agua destilada y se tomó una alícuota de 0.3 mL (en triplicados) y se incubó nuevamente con 0.2 mL GOPOD (glucosa oxidasa-peroxidasa) a 50 °C durante 30 min. Finalmente se midió la absorbancia a 510nm. Dichos experimentos se realizaron por duplicado para cada muestra.

Para la hidrólisis de carbohidratos de cada muestra, se realizó el cálculo de la concentración de glucosa en cada tiempo, se calculó el área bajo la curva y se obtuvo la hidrólisis de cada muestra de acuerdo con la ecuación para el cálculo de hidrólisis enzimática.

$$HI = \frac{ABC \text{ muestra}}{ABC \text{ alimento de referencia}}$$

Donde:

HI: Hidrólisis de carbohidratos

ABC: área bajo la curva de la muestra

ABC: área bajo la curva del alimento de referencia

Una vez realizado el cálculo de hidrólisis de carbohidratos para cada muestra, se hizo una estimación del índice glucémico con la siguiente ecuación (Goñi, Garcia-Alonso, & Saura-Calixto, 1997; Singh *et al.*, 2020):

$$EIG = 39.21 + (0.803 \times HI)$$

Donde:

EIG: Estimación del índice glucémico

HI: Hidrolisis de carbohidratos obtenido de la ecuación anterior, correspondiente a cada muestra.

VI.2.7 Análisis Físicoquímicos

VI.2.7.1 Índice de absorción agua (IAA)

Para el análisis de índice de absorción de agua (IAA) se utilizó el método descrito por Ramírez-Jiménez *et al.*, (2014) con modificación. Se suspendieron 5 g de harina de frijol en estudio y se hidrató con 30 mL de agua destilada en tubo de centrífuga de 50 mL, para después pasarlo por un vórtex por 1min a fin de homogenizar la harina en el agua destilada. A continuación, se centrifugó a 3000 g durante 10 min a 25 °C. El líquido del sobrenadante se retiró y los tubos se escurrieron durante 10 min sobre toallas de papel. La muestra fue ponderada para calcular el índice de absorción de agua y se expresó como el porcentaje del gel obtenido por gramo de muestra sólida seca (g/g) (Ramírez J. A., Reynoso, Mendoza, & Loarca, 2014).

$$\text{Índice de absorción de agua} = \frac{\text{Peso (tubo final)} - (\text{Peso de la muestra} + \text{Peso inicial de tubo})}{\text{Peso de muestra}}$$

VI.2.7.1 Índice de solubilidad de agua (ISA)

El procedimiento es el mismo a la determinación de índice de absorción de agua descrito por Beuchat, (1977). Después de la centrifugación de la muestra, el

sobrenadante fue recuperado en vasos de precipitados previamente a peso constante. Estos se sometieron a evaporación durante 24 h o hasta evaporación completa. Los vasos fueron atemperados por 30 min a temperatura ambiente en desecador y se registró su peso. Los resultados se expresaron como la relación entre el residuo de evaporación y el peso seco de la muestra.

VI.2.7.2 Índice de absorción de aceite (IAL)

El procedimiento es el mismo a la determinación de índice de absorción de aceite descrito por Beuchat, (1977) con modificaciones. Se mezcló un gramo de harina de frijol con 10 mL de aceite de oliva un tubo falcón de 50 mL previamente pesado, la suspensión se homogenizó por 2 min en un vortex y se dejó reposar durante 30 min a 28 °C , posteriormente se centrifugó a 15000 g durante 20 min, el sobrenadante claro se decantó y se retiraron las gotas de aceite en la pared con algodón y se pesó el tubo. Se calculó y expresó el peso del aceite absorbido por gramo de harina de frijol (Ramírez-Jiménez, Reynoso-Camacho, Mendoza, & Loarca-Piña, 2014).

$$\text{Índice de absorción de aceite} = \frac{\text{Peso (tubo final)} - (\text{Peso de la muestra} + \text{Peso inicial de tubo})}{\text{Peso de muestra}}$$

VI.2.7.3 Medición de color

La medición del color se realizó según lo recomendado por la (CIE) Comisión Internacional de Iluminación (2004) en el espacio de color CIE 1976 (L^* , a^* , b^*) abreviado CIELAB. Se usó un espectrofotómetro portátil Minolta CM-202 y los resultados se expresaron en términos de luminosidad (L^*), color rojo (a^*) y color amarillo (b^*). El color fue determinado con los valores dados por: L^* , a^* y b^* ; donde: L^* representa la claridad, en una escala de 0 a 100, siendo 0 blanco y 100 negro; el valor a^* mide la cantidad de rojo y verde, siendo a (-) verde y a (+) rojo; b^* representa la cantidad de azul y amarillo, siendo b (-) azul y b (+) amarillo (McGuire, 1992). Se

utilizo un espectrofotómetro de reflectancia Minolta Osaka-Light CM-2002, con un iluminante D65.

VI.2.7.4 Análisis de perfil de textura

Para la determinación de los parámetros de textura se utilizó un texturómetro Brookfield. Se aplicó la secuencia de análisis de perfil de textura (compresión en dos ciclos) utilizando una celda de carga de 0.5 N, utilizando una sonda cilíndrica de 25.4 mm sobre un raviol de frijol de 4.5 cm. El ensayo se realizó a una velocidad 1 mm/s y una compresión de máxima del 30 % de deformación. A partir de las curvas de TPA, con dos ciclos de compresión, se midieron los parámetros de textura: dureza, elasticidad, cohesión, resistencia y masticabilidad (Cornejo & Rosell, 2015). La pasta debe cumplir con algunas características importantes para el consumidor como un color uniforme, superficie lisa, firmeza y elasticidad. Además, debe mantener su integridad durante la cocción y ofrecer un sabor agradable (Sissons, 2016). Entonces la textura de la pasta es principalmente definida como la resistencia de la misma a la masticación, así como la sensación de la superficie de la pasta percibida por el consumidor. Esta experiencia sensorial puede ser estimada instrumentalmente mediante el análisis de perfil de textura (TPA).

VI.2.8 Diseño experimental

Los diseños de mezclas prevén un desarrollo de formulaciones eficientes de productos y los ajustes de otras variables para cumplir con los requisitos sobre las propiedades del producto (Kaya, Piepel, & Caniyilmaz, 2013). Los diseños experimentales de mezclas permiten evaluar de manera consistente y económica la influencia de cada uno de los componentes de la mezcla en el producto final (Saltos, 2010). Este modelo es adecuado cuando el cambio en la cantidad no solo afecta a la respuesta sino también a la composición de la mezcla (Pal & Kumar, 2012). El diseño de experimentos con mezclas determinar cuáles de los ingredientes de la

mezcla o interacciones entre ellos tienen una mayor influencia sobre una o varias respuestas de interés; modela las respuestas de interés en función de las proporciones de los componentes de la mezcla y utiliza los modelos para determinar en qué porcentaje debe participar cada uno de los ingredientes para lograr que las fórmulas tenga las propiedades deseadas (Gutiérrez-Pulido & De la Vara, 2004).

Cuadro 7. Diseño experimental para la formulación de raviolos.

Principios del diseño experimental	Descripción
Aleatorio	Se realizarán corridas experimentales de materia prima experimental y el orden de las pruebas individuales en orden aleatorio.
Repeticiones o replicas	Es una corrida para los tratamientos o combinación de factores.
Análisis por bloques	Precisión del experimento para tomar factores que pueden afectar la respuesta
Diseño	Red simple (simplex-lattice) para la optimización de una mezcla
Comparando	La variación de 3 ingredientes en la formulación La suma de los componentes es el 100 %
Tratamientos Para la obtención de la harina de frijol	Extrusión Cocción tradicional Tostado a comal

Niveles	3
Factores experimentales	Frijol (Peruano y Negro) mucilago de linaza agua
Variabes respuesta	depende de la formulación final

Mediante un diseño de mezclas, tipo simplex reticular considerando los componentes. Las hipótesis del experimento para contrastar y así verificar si la respuesta depende de los componentes de la mezcla de los ravioles son:

H0: Todas las igualdades se cumplen

H1: Al menos una de las igualdades no se cumple

Punto	Almidón pregelatinizado (X1)	Mucilago de chíá (X2)	Agua (X3)	Y
1	1	0	0	
2	0	1	0	
3	½	½	0	
4	0	0	1	
5	½	0	½	
6	0	½	½	
7	0.3	0.3	0.3	

Los resultados obtenidos del análisis estadístico se expresaron como la media \pm el error estándar como medida de dispersión de los datos. Para los datos paramétricos, se realizó un ajuste y prueba de análisis de varianza (ANOVA para el modelo canónico cuadrático, de manera adicional, para selección de modelo se tiene el criterio de los coeficientes de determinación (R^2 y R^2 ajustada) por el número de términos utilizados, los cuales darán como información el porcentaje de la variación en "y". se tendrán los residuales, grafico de superficie respuesta y grafico de trazas para determinar la mezcla en el centroide. Para el análisis sensorial se hará una prueba no paramétrica de Chi-Cuadrado, estableciendo un nivel de significancia de un *p-valor pequeño* ($p < 0.05$), utilizando el programa JMP.

VI.2.9 Análisis microbiológico

El análisis microbiológico se realizó de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-247-SSA1-2008 que establece las especificaciones sanitarias que deben cumplir los productos de panificación. Se determinó la concentración de coliformes totales por la NOM-113-SSA1-1994, de mesófilos aerobios por NOM-092-SSA1-1994, de mohos y levaduras mediante la NOM-111-SSA1, 1994.

VI.2.10 Análisis sensorial

El reclutamiento para la evaluación sensorial se llevó a cabo mediante convocatoria por redes sociales dentro de la Universidad Autónoma de Querétaro. Se buscó una audiencia de 30 panelistas no entrenados que se encontrara en el rango de 20-40 años. Se invitó a que asistieran a la sala de evaluación sensorial del Centro Académico de Innovación y Desarrollo de Productos (CAIDEP) ubicado en el Parque Biotecnológico 2^{do} Piso, Centro Universitario, en la Universidad Autónoma de Querétaro. La evaluación sensorial se realizó en un lugar ventilado con una distancia entre panelistas de 1.5 m, utilizando cubrebocas y tomando temperatura a cada panelista, el área se desinfectó como indica la disposición oficial sanitaria de secretaría de salud.

VI.2.11 Análisis estadístico

Los resultados obtenidos se expresaron como la media \pm la desviación estándar como medida de dispersión de los datos. Se llevó a cabo una ANOVA y las diferencias entre las medias para los diferentes tratamientos se analizaron por el método de Tukey-Kramer con $\alpha=0.05$, usando el programa JMP 7.0.

Los datos obtenidos de la evaluación sensorial se analizaron por el método de ANOVA de un factor (discriminativa) y dos factores (escala hedónica) donde los factores fueron las muestras y los panelistas no entrenados. Para el análisis

sensorial se hará una prueba no paramétrica de Chi-Cuadrado, estableciendo un nivel de significancia de un *p*-valor pequeño ($p < 0.05$), utilizando el programa JMP.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

VII.1 Obtención de harinas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.)

VII.1.1 Métodos de cocción.

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es la leguminosa de mayor consumo en México, siendo una buena fuente de proteína y compuestos bioactivos de fácil acceso, los cuales se pueden aprovechar para el desarrollo de nuevos productos alimenticios como harinas para la elaboración de pastas. En el **Cuadro 8** se muestran los métodos de cocción y las condiciones a las que fueron sometidas las semillas para cada variedad de frijol (Peruano y Negro). En la cocción tradicional se realizó según lo reportado por Aparicio-Fernández, *et al.* (2005) con adecuaciones. Se inició con un pretratamiento por remojo en una proporción de agua y semilla (1:3 p/v), por un tiempo de 12 h, el agua de remojo no se desechó se utilizó para la cocción se llevó a una proporción de 1:5 p/v, seguido se inició la cocción a una temperatura de 95 °C y por un tiempo de cocción de 2 h (Peruano) y 2.5 h (Negro) esta diferencia que presentan en el tiempo de exposición es debido a que las semillas de frijol Negro presentan mayor dureza y requiere para su cocción completa un mayor tiempo de exposición. Posteriormente se llevaron a secado en una estufa a 55 °C, las semillas cocidas se colocaron sobre charolas extendidas sin retirar el exceso de agua por 12 h.

La cocción en comal directo se ajustó a lo reportado por Olaninpekun *et al.*, (2015) y Roy *et al.*, (2021). El comal se colocó sobre una hornilla de estufa hasta alcanzar la temperatura de 90 °C, las semillas se distribuyeron sobre el comal buscando que todas las semillas estuvieran en contacto con el comal y con movimientos constantes por un tiempo de 20 min. Las semillas se dejaron enfriar 2 h para poder ser procesadas para formar harinas y ser almacenadas hasta su uso.

La extrusión se realizó siguiendo las condiciones propuestas por Sánchez-Quesada, (2018) con adecuación para las semillas de frijol común (Peruano y Negro), que consistió en remojar de las semillas por 14 h (Peruano) y 12 h (Negro) para alcanzar una humedad relativa del 60 %, condición requerida para el procesamiento de las semillas en el extrusor de tornillo simple con un precalentamiento de 70 °C y 130 °C de salida, una longitud de 25 cm y una velocidad de 20 rpm. Al término de la recolección de la muestra, se extendió en charolas y secó en una estufa a 55 °C por 12h. En los tres procesos térmicos las semillas fueron molidas y tamizadas hasta alcanzar un tamaño de partícula de 250 µm.

El frijol crudo a un mismo tamaño de partícula de 250 µm con fines comparativos para los tratamientos térmicos utilizados en esta investigación. El tamaño de partícula es importante tanto en la caracterización de las muestras como en las propiedades funcionales de la materia y productos terminados. Maskus *et al.*, (2016) mencionaron que los métodos de molienda y cocción empleados influyen en las propiedades funcionales y pueden alterar los contenidos nutricionales entre la misma variedad de leguminosa. Lo cual es una consideración importante en el desarrollo de productos derivados. También Zucco, Borsuk, & Arntfield, (2011) demostraron que el tamaño de partícula de harinas de leguminosas juega un papel importante en los parámetros de calidad de galletas, como la dureza, la extensión y la pegajosidad de la masa.

Por otro lado, Luhovyy *et al.*, (2017) reportaron que las harinas de diferentes leguminosas como chicharos, frijoles, lentejas y garbanzos utilizando diferentes métodos de procesamiento dan como resultado harinas con diferentes características tecnológicas, nutricionales y propiedades biológicas; esta diferencia también se presentó en esta investigación.

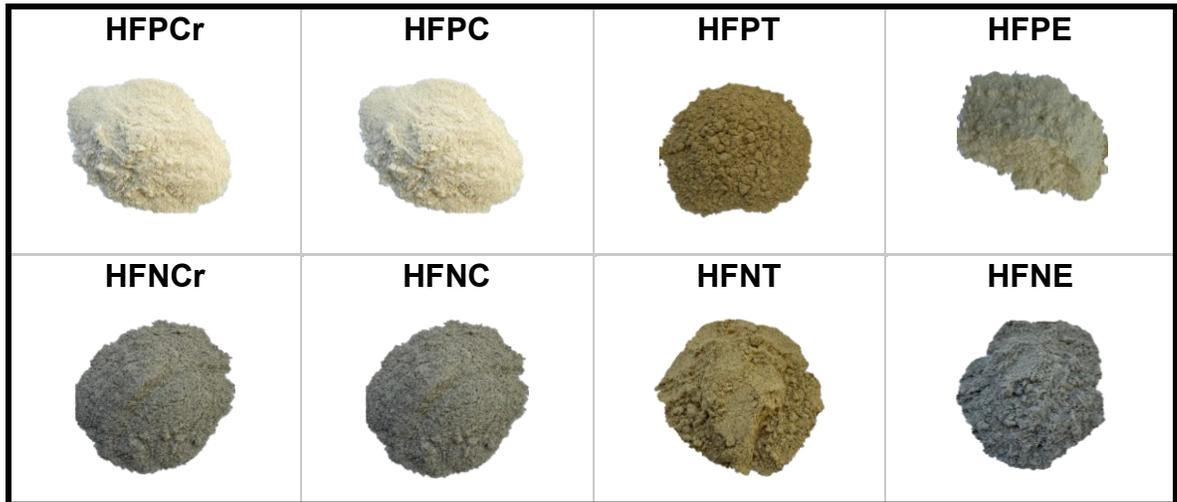
Cuadro 8. Métodos de cocción para las dos variedades de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) Peruano y Negro.

Muestra	Tradicional¹	Tostado²	Extrusión³
Frijol Peruano	Remojo 1:3 p/v, 12 h	Comal 120° C, 25 min	Remojo 14 h, 1:3 p/v, HR 60 %
	Cocción 1:5 p/v, 2.0 h, 95°C	Enfriado 1.5-2 h	Extrusor de tornillo simple 1:1, 15-20 rpm, Calentamiento, 1 (15cm) y 2 (10 cm): T1 60-80°C, T2 130°C
	Secado 12 h, 55°	Secado no	Secado 12 h, 55°C
Frijol Negro	Remojo 1:3 p/v, 12 h	Comal 120° C, 25 min	Remojo 16 h, 1:3 p/v, HR 60 %
	Cocción 1:5 p/v, 2.5 h, 95°C	Enfriado 1.5-2 h	Extrusor de tornillo simple 1:1, 15-25 rpm, Calentamiento, 1 (15cm) y 2 (10 cm): T1 60-80°C, T2 130°C
	Secado 12 h, 55°C	Secado no	Secado 12 h, 55°C

(Aparicio-Fernández, *et. al.*, 2005; Hsu *et. al.*, 1983; Stanley, 1979)¹; (Roy, M. *et. al.*, 2021; Olanipekun *et. al.*, 2015)²; (Escobedo *et al.*, 2020; Sánchez-Quesada, 2018)³

En la **Figura 8** se muestran las 8 harinas obtenidas donde se observan los diferentes colores que presentaron, resultado de los métodos de cocción aplicados y las de los frijoles crudos de cada variedad. El color es un parámetro de calidad importante tanto en la parte sensorial como en la nutricional, siendo este el reflejo de las reacciones químicas ocurridas durante su tratamiento térmico aplicado, grado de cocción o degradación que ocurrió durante la cocción.

Figura 8. Harinas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) Peruano y Negro de acuerdo a su proceso de obtención.



HFPCr= Harina de frijol Peruano crudo; HFPC= Harina de frijol Peruano cocido tradicional; HFPT=Harina de frijol Peruano tostado; HFPE=Harina de frijol Peruano extruido; HFNCr= Harina de frijol Negro crudo; HFNC= Harina de frijol Negro cocido tradicional; HFNT= Harina de frijol Negro tostado; HFNE= Harina de frijol Negro extruido.

VII.1.2 Parámetros de color de harinas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) de las dos variedades.

En el **Cuadro 9** presenta los valores de parámetros de color de la escala CIEL^{a*}b* medidos en las diferentes harinas producidas. Las harinas crudas presentaron la mayor luminosidad (L*) mientras que las harinas HFPT y HFNE presentaron los menores valores para frijol Peruano y Negro respectivamente. Tanto a* como b* en las harinas HFPT y HFNT fueron los mayores valores para cada tipo de frijol.

El contraste (h*), que se obtiene de las coordenadas (a* y b*) y la cromaticidad (c*) definen la saturación de color. En la variedad de frijol Peruano, los valores de contraste se presentan de mayor a menor para los tratamientos de extrusión, cocción tradicional y tostado, mientras que para frijol Negro fueron extrusión>tostado>cocción tradicional. Respecto la saturación, ambas variedades presentaron el orden decreciente tostado>cocción tradicional>extrusión. Un comportamiento similar fue reportado por Siddiq *et al.* (2013), donde los valores de

a* y b* fueron superiores en los frijoles blancos en comparación con frijoles pintos, mostrándose altas tonalidades y bajas cromaticidades.

Este comportamiento puede estar relacionado con los métodos aplicados bajo diferentes condiciones de temperatura y tiempo de exposición al calor, que es un parámetro importante en la formulación de productos alimenticios y para los consumidores el color puede experimentar una sensación cuando la energía radiante visible (380-770 nm) chocan en la retina del ojo (Wrolstad, 2017)

Cuadro 9. Parámetros de color de las harinas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) Peruano y Negro obtenidas por los métodos de cocción.

Muestra	Color	L*	a*	b*	Contraste (h*)	Cromaticidad (c*)
HFPCr		89.46 ± 1.80 ^a	0.01 ± 0.01 ^c	9.09 ± 0.65 ^d	89.89 ± 0.04 ^a	8.74 ± 0.49 ^d
HFPC		84.54 ± 1.48 ^c	1.09 ± 0.023 ^b	13.72 ± 0.40 ^b	85.45 ± 0.23 ^b	13.47 ± 0.04 ^b
HFPT		72.61 ± 1.93 ^d	4.92 ± 0.23 ^a	19.36 ± 1.06 ^a	75.65 ± 0.11 ^c	19.18 ± 0.07 ^a
HFPE		86.67 ± 1.52 ^b	0.03 ± 0.02 ^c	12.60 ± 0.57 ^c	89.84 ± 0.16 ^a	12.19 ± 0.34 ^c
HFNCr		83.61 ± 2.07 ^A	0.28 ± 0.02 ^C	6.42 ± 0.45 ^B	87.54 ± 0.06 ^B	6.14 ± 0.22 ^B
HFNC		69.96 ± 2.25 ^C	1.17 ± 0.08 ^B	4.46 ± 4.46 ^C	75.40 ± 0.17 ^D	4.43 ± 0.08 ^C
HFNT		71.47 ± 2.35 ^B	4.37 ± 0.24 ^A	17.91 ± 1.03 ^A	76.23 ± 0.28 ^C	17.66 ± 0.15 ^A
HFNE		66.33 ± 2.53 ^D	0.03 ± 0.02 ^D	2.22 ± 0.13 ^D	271.07 ± 0.27 ^A	2.13 ± 0.04 ^D

HFPCr= Harina de frijol Peruano crudo; HFPC= Harina de frijol Peruano cocido tradicional; HFPT=Harina de frijol Peruano tostado; HFPE=Harina de frijol Peruano extruido; HFNCr= Harina de frijol Negro crudo; HFNC= Harina de frijol Negro cocido tradicional; HFNT= Harina de frijol Negro tostado; HFNE= Harina de frijol Negro extruido. Cada valor representa la media ± desviación estándar de tres réplicas. Los valores con diferentes letras minúsculas y mayúsculas en la misma columna son significativamente diferentes ($\rho < 0.05$).

VII.1.3 Caracterización química de harinas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.).

La composición química de las harinas de los dos tipos de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) evaluados, sometidos a los tres métodos cocción: tradicional, tostado y extrusión se presentan en el **Cuadro 10**. La aplicación de los diferentes métodos de cocción para la obtención de las harinas muestra diferencias significativas ($p < 0.05$) en el contenido de proteínas, siendo mayor contenido en el tostado seguido de la extrusión y por último la cocción tradicional para las dos variedades. La harina de cocción tradicional comparada con la harina por extrusión no presentó diferencia estadística significativa ($p > 0.05$) en el contenido de proteínas, lípidos y cenizas, pero si en la cantidad de carbohidratos, siendo la harina de frijol Peruano extrudido (HFPE) la del mayor contenido de carbohidratos (80.41 %) y la harina de frijol Peruano tostado (HFPT) con menor contenido (72.12 %).

Para las harinas de frijol común de la variedad Negro, el contenido encontrado de proteína determinado estuvo en el rango de 12 -23 %. Hubo diferencias estadísticas significativas ($p < 0.05$) en el contenido de proteína entre la harina de frijol crudo (HFNCr: 23.26 %), tostado (HFNT: 14.11 %) y extrusión (HFNE: 12.21 %) .Por otro lado, el contenido de proteína en las harinas se ve afectado por el tratamiento térmico, presentando una disminución, pero mejorando su disponibilidad de esta; sin embargo, cabe señalar que el alto contenido de proteínas encontrado en las harinas de frijol crudo en las dos variedades es de baja disponibilidad y afecta la digestibilidad del almidón La disminución de proteína en leguminosas por tratamiento térmico ha sido reportada por algunos autores y ello sugieren mantener la seguridad alimentaria, así como su digestibilidad, ya que se inactivan compuestos tóxicos y/o antinutricios (Lajolo & Genovese, 2002).

Roy *et al.* (2021) encontraron en el frijol rojo oscuro un comportamiento similar, el cual presentó un contenido de proteínas mayor en la harina de frijol crudo (26.08 %) seguido la harina tostada (25.69 %) y harina de cocción tradicional con 24.30 %, siendo la harina tostada con mayor contenido de lípidos (3.91 %), cenizas (4.40 %) y carbohidratos (61.95 %).

Eknayake *et al.* (1999) mencionaron que el contenido de proteínas se ve afectado por el proceso de ebullición, pues las moléculas peptídicas solubles en agua se lixivian en el proceso de ebullición en la cocción tradicional, razón por la que el contenido de proteínas disminuye, coincidiendo con los resultados encontrados en esta investigación. También Seena *et al.* (2006) indicaron una disminución significativa de proteína durante la cocción tradicional y cocción a presión.

En el contenido de lípidos se observa un mayor contenido en las harinas obtenidas por tostado en las dos variedades de 2.76 % en HFNT y 2.55 % en HFPT, pero no hubo diferencias significativas ($p > 0.05$) entre las harinas de la variedad peruana en cocción tradicional y extrusión. En harinas de frijol Negro se obtuvieron diferencias significativas entre las de cocción tradicional (1.58 %) HFNC y extrusión (1.99 %) HFNE. Las harinas que presentaron menor contenido de lípidos son las harinas por extrusión, comportamiento que también fue reportado por Bautista *et al.* (2010) donde a condiciones de alta temperatura (200 °C) y una velocidad del tornillo > 3000 rpm durante la extrusión favorece la degradación de lípidos y la formación de complejos de amilosa-lípidos causando difícil cuantificación de lípidos. Las condiciones de extrusión aplicadas en esta investigación se encuentran por debajo. (Eknayake, Jansz, & Nair, 1999; Bautista, Prudencio & Fernandes, 2010)

Las cenizas en las harinas de los tres métodos de cocción en la variedad peruana no presentan diferencias significativas ($p > 0.05$) y en la variedad negra solo se observó diferencia estadística significativa ($p > 0.05$) en la HFNC con 2.95 % que expresa un valor bajo comparado con los otros dos métodos aplicados. El contenido de carbohidratos en la variedad peruana y Negro se observa diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los tratamientos de cocción, presentando el mayor contenido la harina por extrusión con 77.73 % (HFPE) y 81.12 % (HFNE). La composición química en las harinas de frijol de las dos variedades se pueden ver diferencias estadísticas que podrían aprovecharse para la formulación de diferentes

productos en la industria alimenticia por el contenido de minerales que tiene la harina de frijol.

Cuadro 10. Contenido de proteínas, lípidos, cenizas y carbohidratos en harinas de frijol común.

Muestra	Proteínas	Lípidos	Cenizas	Carbohidratos*
HFPCr	24.07 ± 0.96 ^a	1.66 ± 0.07 ^b	3.51 ± 0.10	70.76 ± 0.41 ^d
HFPC	15.54 ± 0.83 ^c	1.21 ± 0.06 ^c	3.68 ± 0.23	79.57 ± 0.53 ^b
HFPT	21.13 ± 1.79 ^b	2.55 ± 0.12 ^a	4.20 ± 0.43	72.12 ± 0.20 ^c
HFPE	14.56 ± 0.22 ^c	1.01 ± 0.04 ^c	4.02 ± 0.32	80.41 ± 0.52 ^a
HFNCr	23.26 ± 1.02 ^A	1.97 ± 0.09 ^B	4.30 ± 0.04 ^A	70.47 ± 0.85 ^D
HFNC	13.08 ± 0.05 ^{BC}	1.58 ± 0.00 ^C	2.92 ± 0.06 ^B	82.42 ± 0.00 ^B
HFNT	14.11 ± 0.44 ^B	2.76 ± 0.00 ^A	4.30 ± 0.43 ^A	78.83 ± 0.94 ^C
HFNE	12.21 ± 0.56 ^C	1.99 ± 0.11 ^B	3.70 ± 0.33 ^A	82.10 ± 0.39 ^A

HFPCr (Harina de frijol Peruano crudo), HFPC (Harina de frijol Peruano cocción tradicional), HFPT (Harina de frijol Peruano tostado), HFPE (Harina de frijol Peruano extruido), HFNCr (Harina de frijol Negro curdo), HFNC (Harina de frijol Negro cocción tradicional), HFNT (Harina de frijol Negro tostado), HFNE (Harina de frijol Negro extruido). Cada valor representa la media ± desviación estándar de tres réplicas, expresados en % de base seca. Los valores con diferentes letras minúsculas (frijol Peruano) y mayúsculas (frijol Negro) en la misma columna son significativamente diferentes ($p < 0.05$) en las pruebas de Tukey.

* Por diferencia.

VII.1.4 Caracterización nutraceútica de harinas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) de las dos variedades.

Los compuestos fenólicos son metabolitos secundarios de las plantas cuyas funciones principales son de defensa y supervivencia de la planta (Hadacek, 2002). Estas sustancias influyen en la calidad, aceptabilidad y estabilidad en los alimentos, ya que actúan como colorantes, antioxidantes y sabor (Gimeno-Creus, 2004). El contenido de compuestos fenólicos totales libres en las dos variedades de frijol estudiadas se muestran en el **Cuadro 11**. De acuerdo con los datos obtenidos la

mayor concentración de taninos condensados, fenoles y flavonoides totales se presento en ambas variedades (frijol Negro y frijol Peruano) en las harinas tostadas. La harina de la variedad Peruana tostada (HFPT) obtuvo un concentración de taninos condensados de 4.44 mg eq. de (+) catequina/ g muestra seca, de fenoles totales con 8.33 mg eq. de ácido gálico/ g de muestra seca y flavonoides de 0.32 mg eq. de rutina/ g de muestra seca.

En cuanto la variedad de frijol Negro al igual que la de Peruano el contenido de compuestos fue mayor en el tratamiento de tostado con un contenido de taninos condensados de 7.22 mg eq. de (+) catequina/ g muestra seca, fenoles totales de 8.91 mg eq. de ácido gálico/ g de muestra seca y flavonoides de 0.24 mg eq. de rutina/ g de muestra seca.

Estudios realizados por Roy *et al.* (2021) informan que en frijoles Kidney (rojos oscuros) el contenido de fenoles totales en harina tostada fue de 8.15 mg GAE/g y en harina por cocción tradicional de 5.53 mg GAE/ g, valores semejantes a los encontrados en esta investigación para las dos variedades tostadas con 8.33 mg GAE/g (HFPT) y superiores para el frijol Negro 8.91 mg GAE/g (HFNT). Este aumento puede deberse la formación de compuestos con actividad antioxidante como son las melanoidinas compuestas resultantes de la reacción de Maillard que contribuyen en la cuantificación de fenoles teniendo una correlación directa. La conducción de calor directa a la semilla de frijol en el proceso de tostado no presenta una pérdida de compuesto fenólicos por lixiviación en agua, dando como resultado el aumento en los productos de la reacción de Maillard y los compuestos fenólicos que fueron tanto cuantificados como totales.

Treviño-Mejía, (2013) reportaron valores de taninos condensados para frijol sometido a cocción tradicional de 6.00 mg eq. de (+) catequina/ g muestra, siendo estos mayores a los reportados en esta investigación en las dos variedades de frijol en estudio (HFPC) 0.24 mg eq. de (+) catequina/ g muestra y (HFNC) 2.74 mg eq. de (+) catequina/ g muestra. Las diferencias se pueden atribuir a las condiciones

ambientales, tiempo de almacenamiento, tipo de ensayo para la cuantificación, a la variedad y año del frijol analizado (Florez *et al.*, 2009). Por su parte, el menor contenido de taninos se observó en las dos variedades en el proceso de extrusión en HFPE (0.09 mg eq. de (+) catequina/ g muestra) y HFNE (1.49 mg eq. de (+) catequina/ g muestra) que pudiera ser favorable, dado que la extrusión es un proceso de fricción con temperatura donde se llevan a cabo reacciones químicas de despolimerización de compuestos de gran tamaño como las proantocianidinas que favorecen a la harina de frijol y con ello favorecer su biodisponibilidad (Camire, 2000).

Mientras que para las harinas por cocción tradicional presentaron un menor contenido de fenoles totales con un 3.90 mg GAE/g (HFPC) y 4.93 mg GAE/g (HFNC); disminución que se ha relacionado con la inestabilidad térmica de los compuestos polifenoles, que se degradan rápidamente con el calentamiento y lixiviación (Podsdek, *et al.*, 2008 y Roy *et al.*, 2021). Manzocco *et al.*, (2000) en su estudio reportaron niveles bajos de polifenoles en muestras hervidas esto debido a la oxidación química inducida por las altas temperaturas y lixiviación de los compuestos polifenoles solubles en agua que son de naturaleza polar. Este contenido bajo de compuestos fenólicos se puede deber a los procesos tecnológicos y los hábitos culinarios del consumidor del alimento, debido a que muchos de los compuestos fenólicos son solubles en agua (Singh , Singh, Kaur, & Singh, 2017b).

En lo que se refiere a flavonoides, Mojica *et al.* (2015) informaron que frijoles brasileños y mexicanos presentan una alta concentración de flavonoides que va desde 0.083 mg eq. de rutina/g (RE/g) en frijol pinto saltillo hasta 0.694 mg de RE/g en Perola. En esta investigación se encontraron rangos para la variedad Peruano que van de 0.12 a 0.32 mg eq. de rutina/g (RE/g) y en la variedad Negro de 0.12 a 0.24 mg eq. de rutina/g (RE/g), valores que se encuentran próximos a los niveles bajos reportados.

El análisis de las harinas de frijoles crudos en las dos variedades se tienen como referencia para conocer el efecto que tienen los diferentes tratamiento sobre cada matriz en estudio y los valores obtenidos están dentro del intervalo reportado en la literatura (Rocha-Guzmán *et al.*, 2013). De acuerdo con Aparicio-Fernández *et al.* (2005), los taninos se pueden reducir hasta en un 70 % después de cocer el frijol por al menos 2.5 h a temperatura de ebullición.

Los resultados obtenidos sugieren que los compuestos fenólicos, flavonoides y taninos condensados se encuentran en mayor cantidad en las harinas obtenidas de los frijoles Negros en comparación con variedad peruana de cubierta clara. Así mismo, el tostado aplicado en las dos variedades (HFPT y HFNT) favoreció la concentración de taninos y los compuestos fenólicos debido a la ausencia de agua durante el tratamiento.

Cuadro 11. Compuestos fenólicos libres en muestras de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) de las variedades Peruano y Negro.

Muestra	Taninos condensados ¹	Fenoles totales ²	Flavonoides totales ³
HFPCr	0.32 ± 0.02 ^b	2.72 ± 0.15 ^c	0.09 ± 3.07 ^d
HFPC	0.24 ± 0.01 ^b	3.90 ± 0.22 ^b	0.15 ± 6.24 ^b
HFPT	4.44 ± 0.48 ^a	8.33 ± 0.40 ^a	0.32 ± 3.05 ^a
HFPE	0.09 ± 0.00 ^c	3.45 ± 0.11 ^{bc}	0.12 ± 0.94 ^c
HFNCr	6.68 ± 0.72 ^A	4.86 ± 0.06 ^B	0.09 ± 1.88 ^D
HFNC	2.74 ± 0.25 ^B	4.93 ± 0.48 ^B	0.13 ± 0.68 ^B
HFNT	7.22 ± 0.03 ^A	8.91 ± 0.25 ^A	0.24 ± 1.39 ^A
HFNE	1.49 ± 0.07 ^B	5.71 ± 0.28 ^B	0.12 ± 1.24 ^C

Los resultados son las medias de 3 réplicas ± la desviación estándar. Los valores con diferentes letras minúsculas (frijol Peruano) y mayúsculas (frijol Negro) en la misma columna son significativamente diferentes ($p < 0.05$) en las pruebas de Tukey

HFPCr= Harina de frijol Peruano crudo; HFPC= Harina de frijol Peruano cocido tradicional; HFPT=Harina de frijol Peruano tostado; HFPE=Harina de frijol Peruano extruido; HFNCr = Harina de frijol Negro crudo; HFNC= Harina de frijol Negro cocido tradicional; HFNT= Harina de frijol Negro tostado; HFNE= Harina de frijol Negro extruido.

1: mg eq. de (+) catequina/ g muestra seca

2: mg eq. de ácido gálico/ g de muestra seca

3: mg eq. de rutina/ g de muestra seca.

La capacidad antioxidante en las harinas evaluadas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) se muestra en el **Cuadro 12**. Entre las harinas estudiadas de cada variedad se puede observar diferencias significativas ($p < 0.05$) en la capacidad antioxidante por los métodos DPPH y ABTS, esto puede atribuirse a los métodos de cocción que se evaluaron, en los cuales pueden observarse la sensibilidad de estos compuestos a las diferentes condiciones de temperatura, tiempo de exposición y acondicionamiento de la semilla en cada uno. En ambas variedades de frijol común la capacidad oxidante por ABTS y DPPH fue mayor en el tratamiento de tostado con un contenido de DPPH de 3257.84 μ moles eq. de Trolox/g de muestra seca (TEC) para HFPT (peruana) y 6409.40 TEC para HFNT (Negro) y se puede observar el mismo comportamiento en ABTS con 6074.75 TEC para HFPT y 7265.30 TEC para HFNT, al mantener la mayor cantidad de compuestos fenólicos promovieron una capacidad oxidante en las harinas tostadas seguidas de las harinas por extrusión, donde se observa que la mayor capacidad antioxidante en las harinas de frijol Negro. Esto puede estar relacionado tanto a la concentración de compuestos fenólicos como a los productos de las reacciones de Maillard en ambos tratamientos (tostado y extrusión (Yen & Hsieh, 1995). Como lo menciona Manzocco *et al.* (2000) en sus investigaciones encontraron que la reacción de Maillard se ha asociado con la formación de compuestos con una fuerte capacidad antioxidante y el pardeamiento no enzimático se produce en los alimentos con la aplicación de procesos térmicos como en los tratamientos realizados en esta investigación. Mientras que Clifford (1979) reportó que en el grano de café que es tostado, al ser un tratamiento térmico severo, presenta mayores propiedades antioxidantes en los

primeros minutos de tostado y disminuye esta capacidad antioxidante mediante aumento la intensidad del tostado atribuyéndose principalmente a la pirólisis de los componentes del café, incluyendo las melanoidinas y los fenoles. Por lo que se sugiere que los resultados obtenidos en esta investigación concuerden con que la posible formación de reacciones de Maillard en el tostado esté relacionada con la mayor cantidad de compuestos fenólicos y mayor capacidad antioxidante.

Cuadro 12. Capacidad antioxidante de las dos variedades de frijol común.

Muestra	DPPH		ABTS	
	% ARA ¹	TEAC ²	% ARA ¹	TEAC ²
HFPCr	38.46 ± 0.054 ^a	5272.13 ± 4.94 ^a	27.25 ± 0.00 ^d	2816.46 ± 0.00 ^d
HFPC	12.54 ± 0.03 ^d	3032.87 ± 2.56 ^d	30.21 ± 0.00 ^c	3100.35 ± 0.00 ^c
HFPT	16.77 ± 0.07 ^b	3257.84 ± 6.48 ^b	83.83 ± 0.03 ^a	6074.75 ± 2.24 ^a
HFPE	15.98 ± 0.09 ^c	3176.64 ± 8.07 ^c	42.29 ± 0.00 ^b	3637.43 ± 0.37 ^b
HFNCr	41.00 ± 0.05 ^C	5528.75 ± 4.96 ^C	43.08 ± 0.26 ^D	3784.70 ± 1.52 ^D
HFNC	28.98 ± 0.05 ^D	4393.59 ± 4.91 ^D	48.88 ± 0.14 ^C	4079.54 ± 8.50 ^C
HFNT	52.31 ± 0.07 ^A	6409.40 ± 6.47 ^A	104.52 ± 0.06 ^A	7265.30 ± 3.54 ^A
HFNE	47.20 ± 0.09 ^B	5876.06 ± 7.97 ^B	78.53 ± 0.09 ^B	5676.39 ± 5.71 ^B

Los resultados son las medias de 3 réplicas ± la desviación estándar. Los valores con diferentes letras minúsculas (frijol Peruano) y mayúsculas (frijol Negro) en la misma columna son significativamente diferentes ($p < 0.05$) en las pruebas de Tukey

HFPCr= Harina de frijol Peruano crudo; HFPC= Harina de frijol Peruano cocido tradicional; HFPT=Harina de frijol Peruano tostado; HFPE=Harina de frijol Peruano extruido; HFNCr = Harina de frijol Negro crudo; HFNC= Harina de frijol Negro cocido tradicional; HFNT= Harina de frijol Negro tostado; HFNE= Harina de frijol Negro extruido.

¹ Capacidad antirradical expresada como equivalentes de trolox

² μ moles eq. de Trolox/g de muestra seca

El contenido de fibra dietaria total, soluble, insoluble y almidón resistente se presenta en el **Cuadro 13**. Las harinas de frijol crudo en las dos variedades presentan un mayor contenido de fibra dietaria total de 62.29 % (HFPCr) y 66.67 % (HFNCr), respectivamente. Para el caso de las harinas de los tratamientos térmicos, la harina tostada de Peruano presentó el mayor contenido de fibra total con 47.59 % (HFPT) y para el frijol Negro la harina cocción tradicional con 54.94 % (HFNC) y las harinas por extrusión no presentan diferencias significativas ($p > 0.05$) comparadas con las harinas tostados en las dos variedades. Roy *et al.* (2021) reportaron mayor contenido de fibra dietaria en harinas tostadas de frijol comparadas con aquellas cocidas de forma tradicional. Esto se puede atribuir a los efectos de la temperatura, donde al haber contacto directo de las semillas con la fuente de calor, suceden reacciones químicas en las que polifenoles y nuevos compuestos derivados de la reacción de Maillard se incorporan a la fibra y forman nuevas estructuras químicas en las que también participan proteínas y otros carbohidratos (Silván, Morales, & Saura-Calixto, 2010). Por su parte, la cocción en agua facilita la lixiviación de fibra soluble, proceso que es acelerado por la temperatura (Almeida *et al.*, 2006).

Se puede apreciar un mismo comportamiento en la fibra soluble e insoluble para el frijol Negro, no así en el Peruano pues presentó un mayor contenido de fibra soluble por extrusión con 9.26 % (HFPE) y mayor fibra insoluble en tostado con 41.50 % (FPPT). En las harinas de frijol Peruano se puede observar una disminución del contenido de fibra en los tres tratamientos térmicos aplicados comparados con el crudo. Las diferencias, se pueden atribuir a los efectos de la temperatura y las diferencias en el acondicionamiento del frijol (remojo) para entrar al proceso térmico, provocando así la solubilización de componentes acomplexados en las paredes y perderse en los lavados a los que fueron sometidas después de la digestión enzimática.

Para los resultados obtenidos de almidón resistente (AR), los mayores valores los presentan HFPC y HFPE ($p > 0.5$). En la variedad Negro, el incremento de AR se presentó en harina cruda (7.89 %) y tostado (7.27 %) con diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tratamientos térmicos en ambas variedades.

Bello-Pérez y Paredes-López, (2009) reportaron que el frijol crudo y procesado térmicamente presenta contenidos relevantes de almidón resistente en comparación con algunos cereales, que su contenido se encuentra entre 0.8 % y 6.4 %.

Algunos autores sugieren que una porción de la amilosa contenida en el almidón en los frijoles esta acomplejada con moléculas de lípidos y proteínas, limitando la hidrólisis enzimática (Saura-Calixto *et al.*, 1993; Hoover & Zhou, 2003). Durante el proceso térmico se puede formar almidón resistente tipo III, que es producto de la degradación de la amilosa en el almidón nativo de la matriz (Gutiérrez-Dorado *et al.*, 2008). La importancia de cuantificar el almidón resistente radica en los diferentes efectos funcionales estudiados por su importancia biológica, ya que es fermentado en el colon produciendo ácidos grasos de cadena corta (principalmente ácido acético, propiónico y butírico), su fermentación produce mayor cantidad de ácido butírico comparado con otros carbohidratos (Singh *et al.*, 2016).

compuestos de gran importancia en el mantenimiento de la salud (. Éstos AGCC tienen un impacto positivo en la permeabilidad intestinal, regulan la homeostasis de la glucosa y pueden alterar los perfiles séricos, del tejido adiposo y del hígado dando mejoría en la salud de la microbiota mejorando la sensibilidad a la insulina, la regulación de la glicemia y el control del metabolismo lipídico (Fuentes-Zaragoza *et al.*, 2010).

Cuadro 13. Contenido de fibra dietaria total, soluble, insoluble y almidón resistente de harinas de frijol Peruano y Negro bajo diferentes tratamientos.

Muestra	Fibra dietaria total	Fibra soluble	Fibra insoluble	Almidón resistente
HFPCr	62.29 ± 2.39 ^a	9.46 ± 1.75 ^a	52.82 ± 1.06 ^a	7.87 ± 0.69 ^b
HFPC	43.21 ± 0.68 ^c	5.70 ± 0.29 ^b	37.50 ± 0.96 ^c	9.35 ± 0.60 ^a
HFPT	47.59 ± 0.38 ^b	6.09 ± 0.28 ^b	41.50 ± 0.56 ^b	7.75 ± 0.11 ^b
HFPE	45.58 ± 0.71 ^{bc}	9.26 ± 0.17 ^a	36.32 ± 0.68 ^c	9.17 ± 0.36 ^a
HFNCr	66.67 ± 2.20 ^A	7.72 ± 1.64 ^{AB}	58.95 ± 1.97 ^A	7.89 ± 0.54 ^A
HFNC	54.94 ± 2.18 ^B	9.13 ± 0.39 ^A	45.81 ± 1.89 ^B	6.92 ± 0.02 ^B
HFNT	45.14 ± 0.99 ^C	6.00 ± 0.38 ^B	39.14 ± 1.38 ^C	7.27 ± 0.50 ^A
HFNE	46.00 ± 1.60 ^C	6.93 ± 0.40 ^{AB}	39.08 ± 1.24 ^C	6.55 ± 0.03 ^B

Los resultados son las medias de 3 réplicas ± la desviación estándar. Expresado en porcentaje. Los valores con diferentes letras minúsculas (frijol Peruano) y mayúsculas (frijol Negro) en la misma columna son significativamente diferentes ($p < 0.05$) en las pruebas de Tukey.

HFPCr= Harina de frijol Peruano crudo; HFPC= Harina de frijol Peruano cocido tradicional; HFPT=Harina de frijol Peruano tostado; HFPE=Harina de frijol Peruano extruido; HFNCr = Harina de frijol Negro crudo; HFNC= Harina de frijol Negro cocido tradicional; HFNT= Harina de frijol Negro tostado; HFNE= Harina de frijol Negro extruido.

En el **Cuadro 14** se presentan los resultados obtenidos de almidón total (AT) y almidón disponible (AD) en las harinas de frijol Peruano y Negro de los tres tratamientos térmicos aplicados, al igual que las harinas de frijol crudo en ambas variedades.

En el caso del almidón total (AT) el mayor contenido que se encontró en el frijol Peruano fue la harina de cocción tradicional con 66.23 % (HFPC) seguido del tostado con 49.82 % (HFPT) En el frijol Negro el mayor contenido estuvo en la harina tostado con 53.27 % (HFNT), seguido por la extrudida con 52.35 % (HFNE). Esto pudiese atribuirse a que los almidones nativos en las leguminosas presentan menor

digestibilidad que los almidones presentes en los cereales (Chung, Liu, & Hoover, 2009). Otros autores mencionan que esta baja digestibilidad se debe al alto contenido de amilosa, presencia de cristales tipo B en la estructura del almidón, interacciones fuertes entre las cadenas de amilosa y la presencia de factores antinutricios (Hoover & Zhou, 2003).

Cuadro 14. Contenido de almidón total y disponibles (porcentaje) de harinas de frijol Peruano y Negro bajo diferentes tratamientos.

Muestra	Almidón total	Almidón disponible
HFPCr	52.41 ± 0.25 ^b	17.29 ± 0.44 ^{ab}
HFPC	66.23 ± 1.08 ^a	16.40 ± 0.37 ^{bc}
HFPT	49.82 ± 0.28 ^b	15.60 ± 0.33 ^c
HFPE	39.85 ± 0.95 ^c	18.08 ± 0.10 ^a
HFNCr	39.22 ± 0.14 ^C	14.91 ± 0.42 ^B
HFNC	45.00 ± 0.67 ^B	14.25 ± 0.01 ^B
HFNT	53.27 ± 0.38 ^A	20.21 ± 0.70 ^A
HFNE	52.35 ± 0.40 ^A	21.77 ± 0.17 ^A

Los resultados son las medias de 3 réplicas ± la desviación estándar, expresado en porcentaje. Los valores con diferentes letras minúsculas (frijol Peruano) y mayúsculas (frijol Negro) en la misma columna son significativamente diferentes ($p < 0.05$) en las pruebas de Tukey.

HFPCr= Harina de frijol Peruano crudo; HFPC= Harina de frijol Peruano cocido tradicional; HFPT=Harina de frijol Peruano tostado; HFPE=Harina de frijol Peruano extruido; HFNCr = Harina de frijol Negro crudo; HFNC= Harina de frijol Negro cocido tradicional; HFNT= Harina de frijol Negro tostado; HFNE= Harina de frijol Negro extruido.

VII.1.5 Parámetros fisicoquímicos de harinas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.).

Dentro de las propiedades tecno-funcionales destacan las que tienen una estrecha relación con el agua, porque juegan un papel importante en los cambios fisicoquímicos y sensoriales de los alimentos procesados, por lo tanto, la capacidad de absorción de agua y la retención de agua influyen directamente en los compuestos que conforman la matriz alimentaria (McWatters, 1983). En el **Cuadro 15** se muestran los resultados obtenidos del índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad (ISA) e índice de absorción de aceite (IAL) de las 4 harinas de la variedad de frijol Peruano y 4 harinas de la variedad de frijol Negro, donde se compraron entre los tratamientos aplicados de cada variedad.

De acuerdo con los datos obtenidos, las harinas por cocción tradicional de las dos variedades presentaron el mayor IAA, seguidos del tratamiento por extrusión, con 3.78 % para frijol Peruano y 3.77 % para frijol Negro y sin diferencias significativas ($p > 0.05$) entre las harinas tostadas y crudas de las dos variedades. Estos resultados tienen una relación estrecha con el método de cocción y el tratamiento previo de remojo que se les aplicó a los tratamientos de cocción tradicional y extrusión; este pretratamiento puede influir mejorando la textura, siendo una propiedad esperada en la formación de masa. (Seena & Sridnar, 2005).

En el estudio de García (2009) la variedad peruana sometido a cocción tradicional por un tiempo de cocción de 2 horas alcanzó un valor de IAA de 3.56 parecida a la encontrada en la cocción tradicional en la misma variedad de frijol (4.07) del presente trabajo. Colonna & Mercier (1985), mencionan que valores bajos de IAA a bajas temperaturas indican una disponibilidad de agua restringida para el gránulo de almidón dando una estructura compacta. Sin embargo, cuando la temperatura aumenta, las cadenas de amilosa y amilipectina se separan, formando una matriz más expandible dando como resultado mayor capacidad de retener el agua.

Además Oikonomou & Krokida(2012) reportaron que existe una relación estrecha entre IAA, ISA y las propiedades que le dan funcionalidad al almidón, tales como su capacidad de hinchamiento, viscosidad, formación de gel y capacidad de retención de agua, que también aportan características tecnológicas en muchos alimentos (Fuentes-Zaragoza *et al.*, 2010).

Los valores obtenidos de ISA están dentro de un rango de 11.94 % a 2.26 % expresados en el cuadro 15, donde las harinas crudas fueron las que presentaron los valores más altos de ISA, para la variedad peruana (HFPCr) de 11.94 % y Negro (HFNCr) de 9.42 %, seguido de las harinas peruana tostada de 6.32 % (HFPT) y harina Negro tostada de 5.65 % (HFNT). Se pudo apreciar que las harinas obtenidas por cocción tradicional presentaron el valor más bajo comparado con los otros dos métodos de cocción con 3.65 % (HFPC) y 2.26 % (HFNC) esto puede estar relacionado con una alta cantidad de agua en el proceso de remojo y cocción en proporciones de 1:5 y alta temperatura.

Este fenómeno está relacionado con lo reportado por Ding *et al.* (2006) quienes informan que cuando disminuye la humedad de la muestra puede indicar que se ocasiona degradación de algunos compuestos, como el almidón (Ding *et al.*, 2006).

Colonna *et al.*, (1989) reportaron una relación del ISA con la solubilidad del almidón que se lleva a cabo en matrices alimentarias, lo cual se relaciona con la ruptura de las cadenas de almidón ocasionando la dextrinización por temperatura, confiriéndole a la harina un efecto espesante para la formulación de productos alimentarios en la industria. Los índices de ISA y IAA tiene una relación directa con el comportamientos de la harina de frijol , ya que podría ser utilizada específicamente para darle funcionalidad como aglutinante y fuente de proteína en bebidas , barras nutritivas y productos horneados.

El índice de absorción de lípidos (IAL) para la variedad peruana en la harina por extrusión fue 2.62 y el IAL en la harina por cocción tradicional con 3.00, no

presentaron diferencias significativas. Para la variedad Negro al igual que la variedad peruana la cocción tradicional de 2.83 y extrusión de 2.84 y harina tostada con 3.40. Éste IAL tiene una relación directa tanto en la preparación y formulación de alimentos como son el mejoramiento de la textura y potenciar el sabor.

Las altas temperaturas durante el proceso de fritura de los alimentos pueden causar la evaporación del agua transfiriéndola del alimento al aceite circulante, mientras que el aceite que es absorbido busca remplazar el agua liberada hasta en un 40 %, marcando cambios en las propiedades organolépticas. Este comportamiento es importante para la industria, pues la absorción de aceite se da durante y posterior a la fritura por que se utilizan tratamientos previos y posteriores a la fritura, donde la utilización de harinas de baja absorción busca reducir la absorción de aceite al reducir la permeabilidad de la superficie (Moreno & Bouchon, 2008).

Thanatuksorn *et al.* (2010) plantearon que la harina modificada por un tratamiento de molienda tiene poros más grandes y menor contenido de humedad, disminuyendo la absorción del aceite al final del proceso, destacando las masas hechas con harina de arroz que retienen menor cantidad de aceite que las harinas de trigo o maíz en un 50 % al final del proceso dándole una mejor apariencia.

Cuadro 15. Índice de absorción de agua, índice de solubilidad en agua e índice de absorción de lípidos de harinas de frijol Peruano y Negro bajo diferentes tratamientos térmicos.

Muestra	IAA	ISA	IAL
HFPCr	2.78 ± 0.05 ^b	11.94 ± 0.63 ^a	2.80 ± 0.35
HFPC	4.07 ± 0.30 ^a	3.64 ± 0.28 ^d	3.00 ± 0.03
HFPT	3.08 ± 0.02 ^b	6.32 ± 0.08 ^b	2.96 ± 0.07
HFPE	3.78 ± 0.15 ^a	5.14 ± 0.54 ^c	2.62 ± 0.14
HFNCr	2.93 ± 0.18 ^B	9.42 ± 0.28 ^A	3.09 ± 0.32
HFNC	3.88 ± 0.02 ^A	2.26 ± 0.19 ^C	2.83 ± 0.22

HFNT	3.41 ± 0.60 ^{AB}	5.65 ± 0.80 ^B	3.40 ± 0.06
HFNE	3.77 ± 0.24 ^{AB}	4.50 ± 0.24 ^B	2.84 ± 0.31

Cada valor representa la media ± desviación estándar de tres repeticiones expresados en porcentaje de base seca. Las letras mayúsculas y minúsculas por columna indican diferencia estadística significativa ($p < 0,05$) en las pruebas de Tukey. IAA= índice de absorción de agua (g agua/ g muestra); ISA= índice de solubilidad en agua (g agua/ g muestra); IAL= índice de absorción de aceite (ml aceite/ g muestra).

HFPCr= Harina de frijol Peruano crudo; **HFPC**= Harina de frijol Peruano cocido tradicional; **HFPT**=Harina de frijol Peruano tostado; **HFPE**=Harina de frijol Peruano extruido; **HFNCr** = Harina de frijol Negro crudo; **HFNC**= Harina de frijol Negro cocido tradicional; HFNT= Harina de frijol Negro tostado; **HFNE**= Harina de frijol Negro extruido.

VII.2 Formulación del raviol de harinas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) de las variedades Peruano y Negro.

VII 2.1 Ingredientes de la formulación de raviolos de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.).

En el **Cuadro 16** se presentan los principales ingredientes que se utilizaron para la formulación de los raviolos de frijol de los tres tratamientos térmicos en las dos variedades utilizadas en esta investigación (Negro y Peruano).

Sissons (2016) informa que la pasta es un alimento popular mundialmente por su fácil preparación, bajo costo y con un índice glicémico (GI) bajo, donde su composición incluye carbohidratos (70-76 %), proteínas (10-14 %), lípidos (1-8 %), fibra dietética (2-9 %) y bajas cantidades de vitaminas y minerales.

Cuadro 16. Ingredientes utilizados para la formulación de raviolos de harinas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) de las variedades Peruano y Negro.

Ingredientes	Función	Referencia
Harina de frijol	Aporte de proteínas, carbohidratos, compuestos bioactivos como compuestos fenólicos, fibra, almidón resistente, entre otros.	Chávez-Mendoza y Sánchez, 2017

Almidón de maíz	Favorece el volumen específico del pan.	Kim <i>et al.</i> , 2015
Mucilago de linaza	Aporta ácidos grasos omega-3, lignanos, fibra dietaria y compuestos fenólicos.	Redondo-Villalobos <i>et al.</i> , 2009
Agua	Hidratación de harinas, disminuyendo el endurecimiento y confiere elasticidad.	De La Hera <i>et al.</i> , 2016
Aceite de oliva	Fuente de ácidos grasos insaturados, aumenta el volumen en panes y reduce el endurecimiento.	Mancebo <i>et al.</i> , 2017
Sal	Proporciona sabor, aumenta la capacidad de retención de agua.	Mesas y Alegre, 2002

Para la formulación del raviol se utilizaron diferentes ingredientes (**Cuadro 17**). La formulación de productos saludables, ricos en nutrientes y sin gluten son un desafío tecnológico ya que a fin de obtener la funcionalidad del gluten se han empleado muchos enfoques como son el uso de hidrocoloides, almidones, productos lácteos, proteínas y enzimas (Byars, Singh, & Kenar, 2017).

Cuadro 17. Porcentajes de los ingredientes en la formulación de los raviolos de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) de las variedades Peruano y Negro.

Muestra	Harina (%)	Mucilago (%)	Almidón (%)	Otros ingredientes (%)
HFPC	40-50	10-15	15-20	15-20
HFPT				
HFPE				
HFNC	40-45	10-15	15-20	15-20
HFNT				
HFNE				

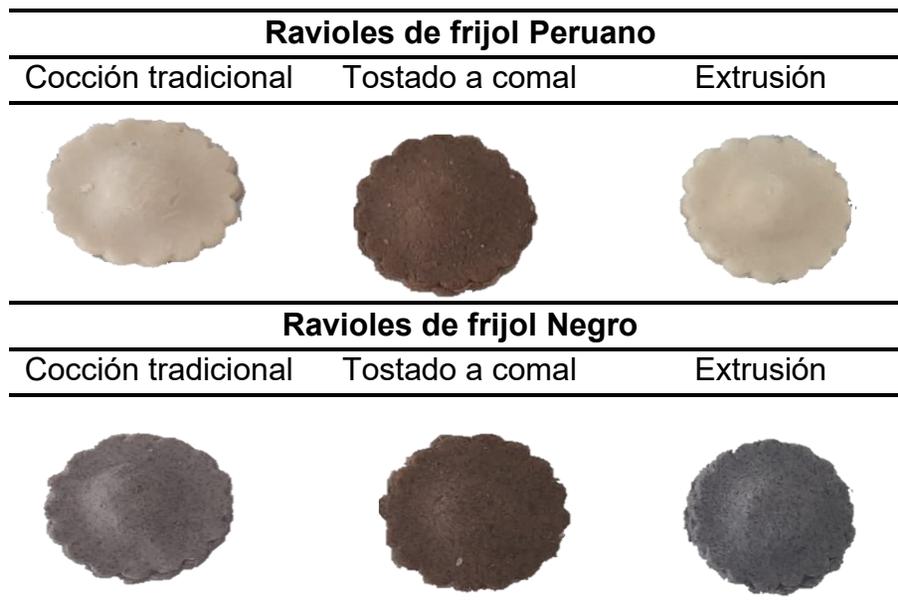
HFPC (Harina de frijol Peruano cocción tradicional), HFPT (Harina de frijol Peruano tostado), HFPE (Harina de frijol Peruano extruido), HFNC (Harina de frijol Negro cocción tradicional), HFNT (Harina de frijol Negro tostado), HFNE (Harina de frijol Negro extruido).

VII.2.2 Elaboración de ravioles de frijol común de las dos variedades Peruano y Negro.

La **Figura 9** muestra imágenes representativas de los ravioles formulados de las harinas de frijol de las dos variedades en estudio (Peruano y Negro) en los tres métodos de cocción sin ser sometidos a la segunda cocción para su posterior consumo y preparación. En las imágenes se puede observar que presentan una textura firme, homogénea y un aspecto uniforme. Los ravioles de harina de cocción tradicional y extrusión en ambas variedades presentan un color semejante pero no igual.

El método de cocción aplicado influyó en el color que presentan los ravioles. Los ravioles de las dos variedades, de las harinas de frijol tostado en ambas variedades (HFPT y HFNT) presentaron una coloración marrón, esto pudiese atribuirse a las reacciones de Maillard que les proporcionan color, aroma y sabor diferente a los otros ravioles. Sin embargo, durante el proceso térmico a altas temperaturas se producen diversos compuestos deseables que le confieren al producto final propiedades funcionales y nutricionales como la capacidad antioxidante, así también se forman compuestos no deseables como hidroximetilfurfural y la acrilamida. No obstante, son pocos los estudios relacionados en este sentido que limita el cambio en la formación de estas sustancias durante el tostado de harinas. Shibukawa *et. al.* (1989) demostraron que el desarrollo del color dependía de la temperatura, si esta es mayor sobre la superficie del material, más oscuro era el color de la superficie, sin importar el modo de transferencia de calor. Además, el desarrollo del pigmento marrón es una reacción de primer orden al llevarse a cabo la reacción de Maillard.

Figura 9. Raviolos de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) de las variedades Peruano y Negro.



En la **Figura10**, se muestran los 6 raviolos después de ser introducidos en el agua para su cocción por ebullición, por un tiempo de 6 min y se observó que los raviolos que más se disolvieron en el agua de ebullición fueron los elaborados de las harinas tostadas en las dos variedades evaluadas, seguidas de los raviolos de harinas por cocción tradicional. Sin embargo, los raviolos elaborados con las harinas por extrusión de las dos variedades mantuvieron la forma del raviol y no se disolvieron en el agua en ebullición durante la cocción.

La cocción es una etapa del proceso de preparación para el consumo de muchos productos alimenticios, el tiempo óptimo de cocción es muy importante en una pasta y éste debe aplicarse para obtener una gelatinización completa del almidón (Tudorica, Kuri, & Brennan, 2002). El tiempo de cocción aplicado en esta investigación fue de 6 min donde se alcanzo la gelatinización y la consistencia de la pasta; este tiempo de cocción es muy sercano al aplicado por Torres *et al.*, 2007,

quienes aplicaron un tiempo de 8 min para una pasta que consistía en una mezcla de 10 % harina de leguminosa germinada y 90 % de harina de trigo. Atributo que se confiere a pastas suplementadas donde se ha reportado un tiempo de cocción más corto y una mayor absorción de agua, pérdida de proteína en el agua comparada con la pasta control de 100 % sémola. También Park & Baik (2004), observaron que una pasta con mayor contenido de proteína se requería menor tiempo de ebullición para mantener su forma y su consistencia al momento de su consumo.

Tudorica, Kuri y Brennan (2002), reportaron en su investigación que las pérdidas por cocción son una predicción de la calidad en la cocción de pastas como el espagueti.

Mientras que Zhao *et al.* (2005) informaron que en espagueti adicionados con harina de chícharo, lenteja y garbanzo con diferentes porcentajes de sustitución de harina de leguminosas los valores obtenidos de pérdida en la cocción fueron de 5.10 a 7.35 % y compararon con investigaciones previas donde se relacionó con el contenido de proteína, la composición del trigo durum y la calidad de cocción. Se ha explicado que, en la pasta de sémola, las proteínas están enlazadas por enlaces bisulfito, hidrógeno y enlaces hidrofóbicos que forman esta matriz, la cual le confiere propiedades de viscoelasticidad a la pasta dando como resultado una desintegración gradual en la cocción en agua. Entonces si la matriz proteica se desorganiza, se tiene como resultado una desintegración rápida durante la cocción en agua de la pasta. Se sabe que una proteína débil discontinua, permite la liberación de componentes durante la gelatinización del granulo de almidón, expresándose en los sólidos liberados en el agua de cocción (Cleary & Brennan, 2006).

Figura 10. Raviolos de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) cocidos de las variedades Peruano y Negro.

Ravioles de frijol Peruano cocidos		
Cocción tradicional	Tostado a comal	Extrusión
		
Ravioles de frijol Negro cocidos		
Cocción tradicional	Tostado a comal	Extrusión
		

La calidad de cocción es el principal atributo en una pasta de importancia para los consumidores. Durante el proceso de cocción, la pasta debe mantener su forma sin disolverse en el agua en ebullición, aunque la liberación en el agua de cocción de pequeñas cantidades de material sólido de la pasta es inevitable (Cole, 1991). Por lo que en esta investigación las pastas que menor daño experimentaron en el proceso de cocción en ebullición y mantuvieron su forma, fueron las pastas elaboradas con las harinas obtenidas por extrusión en las dos variedades estudiadas.

VII.2.3 Evaluación de textura de raviol de harinas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.).

El análisis de perfil de textura de un alimento es un atributo útil para medir la calidad y consistencia que puede brindarle al consumidor un alimento. Dentro de los parámetros a medir en una pasta esta la textura asociada a la resistencia a la masticación y la sensación que percibe el consumidor.

Los parámetros de textura que se evaluaron en el raviol de harina de frijol Negro extrudido se muestran en el **Cuadro 18** utilizando como control de comparación los parámetros de textura de una pasta de harina de trigo con sémola comercial, tal como es sugerido por Espinosa-Solis *et al.* (2019). La evaluación realizada como el análisis de perfil de textura (TPA) consiste, en la compresión de dos ciclos que simulan la masticación de los primeros bocados de un alimento. Los parámetros que se determinaron son: la dureza, adhesividad, cohesividad, elasticidad, gomosidad y masticabilidad, los cuales se utilizan para comparar los atributos sensoriales y reológicos (Nishinari, Fang, & Rosenthal, 2019).

Los resultados obtenidos del raviol de harina de frijol presentan valores en comparación del raviol de harina de trigo son menores, con la exclusión de los atributos de adhesividad y gomosidad, lo que puede atribuirse a los componentes dentro de la formulación planteada (mucilago de linaza y almidón retrogradado de maíz). Se observa una disminución de la dureza en del raviol de frijol (RN) en comparación del raviol de sémola (RH) del 50.63 % indica una disminución en la fuerza requerida para masticar la pasta, dando una apariencia de ser más blanda y dándole una mejor aceptación para el consumidor. Así mismo la cohesividad (0.23 mJ), elasticidad (0.25 mm) y la gomosidad (1.92 N) en el raviol de frijol fue menor en comparación con el raviol de harina con sémola esto puede estar relacionado con las redes formadas en la pasta con gluten que le da mayor dureza (67.98 N) y elasticidad en el raviol. La ausencia de gluten en el raviol de frijol (RN) podría explicar la disminución de la dureza, la gomosidad y el aumento de la adhesividad (Sussanna & Prabhasankar, 2013). En la cohesividad no existen diferencias significativas en los dos raviolos, lo que puede indicar que el raviol de frijol puede mantener su forma durante la ebullición el agua para su cocción, esta cualidad está relacionada con la formación de complejos entre las proteínas del frijol, los polisacáridos en la formulación de raviol y su calidad.

Fedeniuk & Biliaderis (1994) reportaron refieren que la utilización de la goma del mucílago como agente formador de estructuras en productos sin gluten depende de sus propiedades de gelificación y retención de agua (1600-3000 g/100 g sólidos), contribuyeron que en las propiedades reológicas del raviol de frijol Negro extrudido dándole mejor adhesividad y elasticidad (Fedeniuk & Biliaderis, 1994).

Cuadro 18. Perfil de textura (TPA) de raviol elaborada a base de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) Negro extrudido y pasta de harina con sémola comercial.

Atributo de textura	RN	RH*
Dureza (<i>N</i>)	33.56 ± 9.80	67.98 ± 2.94*
Adhesividad (<i>mJ</i>)	2.00 ± 0.70*	0.98 ± 0.01
Cohesividad	0.23 ± 0.10	0.49 ± 0.03*
Elasticidad (<i>mm</i>)	0.25 ± 0.06	1.10 ± 0.05*
Gomosidad (<i>N</i>)	1.92 ± 0.08	33.26 ± 0.20*
Masticabilidad (<i>mJ</i>)	1.76 ± 0.62*	0.04 ± 0.00



Cada valor representa la media de 3 réplicas ± desviación estándar. Los valores con * en la misma columna expresan diferencias significativas $\alpha=0.05$ en la prueba de T student.

RN (Raviol de frijol Negro extrudido) y **RHS** (Raviol de harina de trigo y sémola).

*Los datos de comparación corresponde a una pasta de harina de trigo con sémola de Espinosa-Solis *et al.*, (2019)

VII.3 Caracterización de raviol de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) y comparación con un raviol de harina con sémola comercial.

VII.3.1 Caracterización química de raviol de harinas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) y raviol de harina con sémola comercial.

En el **Cuadro 19** se observa el contenido de proteínas, lípidos, cenizas y carbohidratos en los dos ravioles (RN y RH). El contenido de proteína en los ravioles elaborados de harina de frijol Negro extrudido (RN) fue de 16.65 % y aumentó en comparación con los ravioles comerciales de harina de trigo (14 %). En la literatura

hay pocos reportes de pastas enriquecidas donde el componente mayoritario es la harina de frijol común y utilizando mucilago. Gallegos-Infante *et al.* (2010) reportaron un aumento de proteína cuando aumentaba el porcentaje de sustitución de harina de frijol Bayo-Victoria en una pasta de espaguetis, donde para sustituciones del 15 % y 30 % se encontraron aumentos proteicos del 16,y 19 % respectivamente. Respecto a la cantidad de lípidos y cenizas no se encontraron diferencias estadísticas significativas ($p>0.05$) entre los raviolos en estudio. La cantidad de carbohidratos fue mayor en el raviol de harina de trigo con sémola (RH) con 24.90 %.

Parte del aporte de carbohidratos en RN (20.49 %) podría deberse a su contenido de mucílago, del cual se ha descrito que químicamente contiene 50-80 % de carbohidratos, 4-20 % proteínas y 3-9 % cenizas (Fedeniuk & Biliaderis,1994).

Cuadro 19.Contenido de proteínas, Lípidos, Cenizas y Carbohidratos del raviol de harinas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) y harina de trigo con sémola comercial.

Muestra	Proteínas	Lípidos	Cenizas	Carbohidratos**
RN	16.65 ± 0.24*	4.07 ± 0.70	2.20 ± 0.09	77.08 ± 0.24
RH	13.00 ± 0.00	4.42 ± 0.24	2.15 ± 0.02	80.43 ± 0.09*

RN (Raviol de frijol Negro extrudido) y **RH** (Raviol de harina de trigo enriquecida con huevo). Cada valor representa la media de 3 réplicas ± desviación estándar, expresado en % de base seca. Los valores con * en la misma columna expresan diferencias significativas $\alpha=0.05$ en las pruebas de T student.

** Por diferencia.

VII.3.2 Caracterización nutracéutica de raviolos de frijol Negro extrudido y raviol de harina de trigo común.

Los alimentos son sistemas complejos que varían en su composición y destino biológico, contienen compuestos que al ser ingeridos tienen una actividad como antioxidante. En el **Cuadro 20** se presenta el contenido de compuestos fenólicos libres del raviol de harina de frijol Negro por extrusión comparado con un raviol comercial enriquecido con huevo. La cantidad de fenoles totales y flavonoides presentes en los raviolos es mayor en los raviolos de frijol Negro extrudido (RN) en comparación del raviol de harina de trigo (RH).

El contenido de taninos condensados encontrados en el raviol de frijol Negro extrudido disminuyó comparado con la harina extrudida (7.22 mg de (+) catequina/g muestra seca) en el Cuadro 11, con aproximadamente 50 %, esta disminución podría favorecer la digestibilidad de las proteínas, ya que se ha informado su acomplejamiento con ellas (Brune, Rossander, & Hallberg, 1989; Díaz, Caldas, & Blair, 2010).

La disminución de compuestos fenólicos puede estar relacionada con la solubilidad inducida por la temperatura de contacto con la mezcla del almidón retrogradado para poder integrar la harina, dándose una degradación de polifenoles sensibles al calor y la oxidación (Oliviero & Fogliano, 2016), por lo que disminuir esta temperatura y reducir tiempos de cocción en agua podría ayudar en minimizar la oxidación inducida por la ebullición en su segunda cocción para su consumo.

Cuadro 20. Compuestos fenólicos libres en raviol de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) variedad Negro y raviol de harina de trigo con sémola comercial.

Muestra	Fenoles totales²	Flavonoides totales³	Taninos condensados¹
RN	9.03 ± 0.30*	0.22 ± 3.50*	1.05 ± 0.00
RH	7.80 ± 0.05	0.11 ± 3.67	>LD

Los resultados son las medias de 3 réplicas \pm la desviación estándar. Los valores con * en la misma columna expresan diferencias significativas $\alpha=0.05$ en las pruebas de T student.

RN= Raviol de frijol Negro extrudido; RH= Raviol de harina

1: mg eq. de (+) catequina/ g muestra seca

2: mg eq. de ácido gálico/ g de muestra seca

3: mg eq. de rutina/ g de muestra seca.

>LD: menor del límite de detección

En el **Cuadro 21** se muestran los resultados obtenidos de la capacidad antioxidante en el raviol de harina de frijol Negro y el raviol de trigo enriquecido con huevo comercial, donde se puede observar diferencias estadísticas significativas ($\alpha=0.05$) entre los dos raviolos. La mayor capacidad antioxidante puede atribuirse a los ingredientes utilizados para el desarrollo del raviol como el mucílago de linaza, que su contenido en la semilla contienen diferentes compuestos fenólicos (Oomah, Kenaschuk, & Mazza, 1995) como son ácido fenólico (1 %), flavonoides (35-70 mg /100 g) y componentes derivados de la fibra como lignanos (1-26mg/g semilla) (Muir, 2006) favoreciendo a los raviolos.

Cuadro 21. Capacidad antioxidante en raviol de frijol común Negro extrudido y raviol de trigo con sémola comercial.

Muestra	DPPH		ABTS	
	% ARA ¹	TEAC ²	% ARA ¹	TEAC ²
RN	45.09 \pm 0.04*	12878.00 \pm 8.36*	39.03 \pm 0.07*	7720.34 \pm 3.58*
RH	7.80 \pm 0.01	5354.78 \pm 2.92	8.01 \pm 0.01	3606.80 \pm 2.33

Los resultados son las medias de 3 réplicas \pm la desviación estándar. Los valores con * en la misma columna expresan diferencias significativas $\alpha=0.05$ en las pruebas de T student.

RN= Raviol de frijol Negro extrudido; RH= Raviol de harina de trigo con sémola comercial.

¹ capacidad antirradical expresada como equivalentes de Trolox

² μ moles eq. de Trolox/g de muestra seca

Los resultados obtenidos de fibra dietaria total, soluble, insoluble y almidón resistente los raviolos de frijol Negro y harina se presentan en el **Cuadro 22**. Se

observan las diferencias significativas ($p > 0.05$) donde el raviol de harina de frijol extrudido fue mayor en la fibra dietaria total (21 %) soluble (3.32 %) e insoluble (18.48 %) en comparación con el raviol comercial de harina de trigo enriquecido. Esto puede ser por la utilización de la tecnología emergente como la extrusión que provoca una redistribución parcial o completa de la fibra (Garcia-Amezquita *et al.*, 2020). Además, ingredientes como el mucílago de linaza en la formulación aportan fibra. Se sabe que el mucílago de linaza contiene polisacáridos, un neutro (xilosa 62.8%) y un ácido (ramnosa 54.5 %), fibra insoluble y fibra soluble que le dan el efecto gelificante (Daun *et al.*, 2003).

También Wilson *et al.* (2020) señalaron que la fibra se ha estudiado debido a los beneficios a la salud que tiene al consumirla y se le han atribuido efectos en la pérdida de peso, cáncer de colorrectal y enfermedades cardiovasculares. Por otro lado, Silveira *et al.* (2003) mencionaron que el consumo de fibra de leguminosas como el frijol producen saciedad debido al incremento de volumen que aporta durante la digestión y mayor tiempo de ingestión, generando mayor sensación de plenitud y motilidad intestinal.

Para el caso del almidón resistente presentó mayor contenido en el raviol formulado de frijol (RN) con 2.23 y 1.90 % en el raviol de harina comercial (RH), observándose diferencias significativas ($p > 0.05$).

Se ha reportado que la extrusión favorece el aumento de la fibra insoluble en comparación con la fibra soluble siendo atribuido a la formación de almidón resistente, por la gelatinización que sufre en el proceso y la formación de complejos de polisacáridos-proteína, parecido a la lignina (Cotacallapa-Sucapuca *et al.*, 2021).

La extrusión es un proceso termomecánico que induce transformaciones químicas y estructurales en la composición fitoquímica, dando como ventaja el aumento de la digestibilidad de proteínas y almidón, solubilización de la fibra dietaria e inactivación

de los compuestos antinutricios, ventajas que presenta el raviol de harina de frijol Negro extrudido elaborado en esta investigación, haciéndolo un alimento saludable y funcional con un excelente valor nutritivo para su producción.

Los alimentos con alto contenido de fibra tienden a llenar más y es probable que el consumo sea menor. La fibra soluble en los frijoles puede ayudar a reducir el colesterol total en sangre, retardar la absorción de azúcar en la sangre y la fibra insoluble promueve el movimiento del material a través del aparato digestivo.

Cuadro 22. Contenido de fibra dietaria total, soluble, insoluble y almidón resistente de raviol de frijol Negro extrudido y raviol de harina.

Muestra	Fibra dietaria total	Fibra dietaria soluble	Fibra dietaria insoluble	Almidón resistente
RN	21.80 ± 0.18*	3.32 ± 0.15*	18.48 ± 0.57*	2.23 ± 0.08*
RH	14.54 ± 0.95	2.38 ± 0.14	12.16 ± 0.16	1.90 ± 0.07

Los resultados son las medias de 3 réplicas ± la desviación estándar. Expresado en porcentaje. Los valores con * en la misma columna expresan diferencias significativas $\alpha=0.05$ en las pruebas de T student.

RN= Raviol de frijol Negro extrudido; RH= Raviol de harina

El contenido de almidón total y disponible se muestra en el **Cuadro 23**. Hay diferencias significativas en el contenido de almidón total de 15.82 y el almidón disponible de 23.16 en el raviol de frijol común que son mayores al raviol de harina de trigo con sémola. Este aumento de almidón puede atribuirse a que el método de extrusión favorece la disponibilidad de carbohidratos presentes en el interior de la

célula, por una ruptura y mayor porosidad de la pared celular (Cotapallapa-Sucapuca *et al.*, 2021). Por lo que la velocidad con la que se digiere el almidón es importante debido al grado en el que la carga de glucosa en la sangre aumenta, va a incrementar la repuesta de la insulina necesaria para disminuir la sobrecarga de glucosa y mantener la glicemia normal (Mishra, Hardacre, & Monro, 2012).

Cuadro 23. Contenido de almidón total y disponibles (porcentaje) de raviol de frijol Negro extrudido y raviol de harina.

Muestra	Almidón total	Almidón disponible
RN	15.82 ± 0.06*	23.16 ± 0.00*
RH	6.91 ± 0.06	19.97 ± 0.05

Los resultados son las medias de 3 réplicas ± la desviación estándar, expresado en porcentaje. Los valores con * en la misma columna expresan diferencias significativas $\alpha=0.05$ en las pruebas de T student. RN= Raviol de frijol Negro extrudido; RH= Raviol de harina.

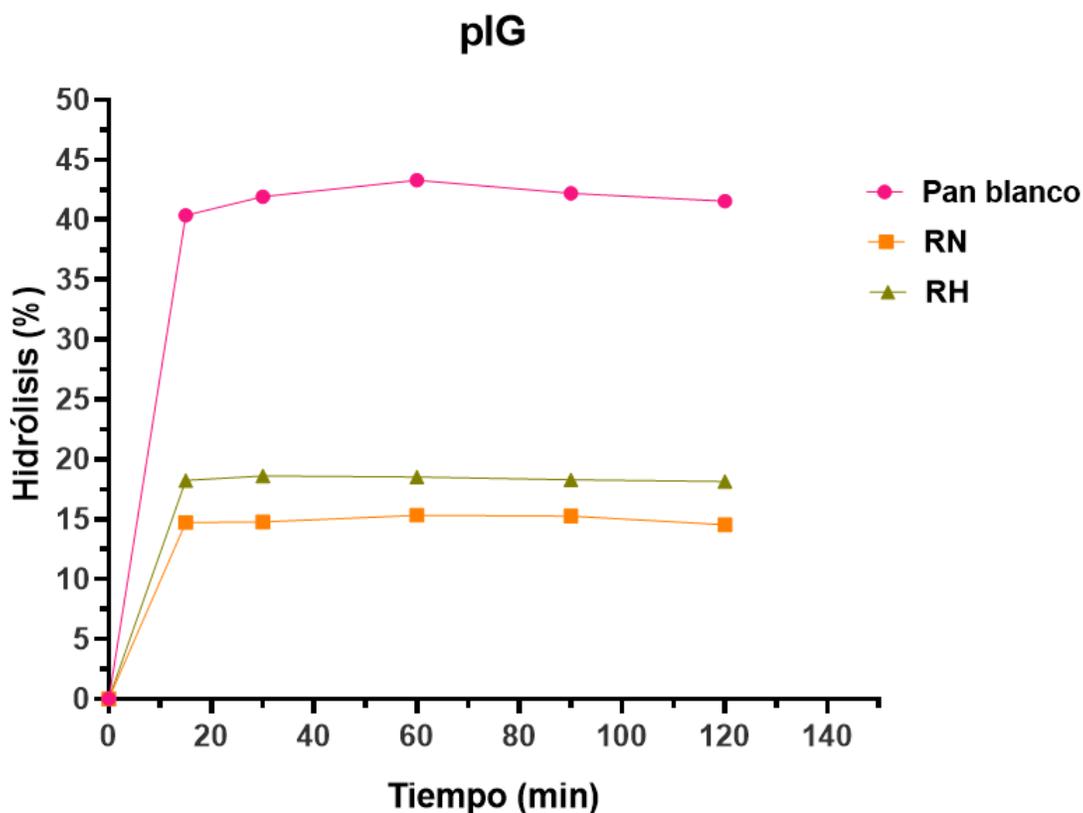
VII.3.3 Predicción del índice glicémico

El estudio de la respuesta postprandial de glucosa en sangre requiere de tiempo, un número determinado de muestras y el reclutamiento de varios individuos, siendo este un método invasivo y costoso en la investigación. Como alternativa se utilizó una metodología que se utilizó fue la estimación *in vitro* en donde se evalúa la hidrólisis del almidón, considerándolo como un predictor de los efectos fisiológicos de un alimento específico Goñi *et al.* (1997).

En la **Figura 11** se muestra la gráfica del almidón total hidrolizado de los dos raviolos en estudio y el alimento de referencia (pan blanco de caja). La curva del raviol de frijol extrudido se encuentra abajo del raviol de harina de trigo y esta se encuentra por debajo de la curva de del pan blanco de caja. El porcentaje de hidrólisis (% H) aumentó durante el experimento en las muestras evaluadas por un tiempo de 180 min, como se sabe las leguminosas se caracterizan por su bajo porcentaje de

hidrolisis con respecto a cereales (trigo), el de raviol de frijol (RH) comparado con el raviol de harina de trigo mostraron ese comportamiento un bajo % H. Este comportamiento esta posiblemente relacionado con el almidón presente en el frijol, ya reportado por Tovar *et al.*, (1990), sugiriendo que está atrapado dentro de las células con paredes rígidas, y estas resisten al ataque enzimático constante después de ser cocidas y homogenizadas ligeramente. Además, el grado de integridad de la fibra en las leguminosas, puede representar una barrera física para la gelatinización del almidón y a los factores antinutricios como son los inhibidores de amilasa que impiden la hidrolisis enzimática (Tovar *et al.*,1992).

Figura 11. Contenido de almidón total hidrolizado en los ravioles (frijol extrudido y harina de trigo).



En el **Cuadro 24** se muestran los valores del índice de hidrólisis (HI) y la predicción del índice glicémico de los raviolos de frijol Negro extrudido y harina de trigo comercial. El índice de hidrólisis obtenido fue de 36.33 para el raviol de frijol Negro extrudido y 40.83 para el raviol de harina de trigo. Para la predicción del índice glicémico (pGI) el raviol de frijol Negro extrudido de 39.65 dando un valor menor comparado con el raviol de harina de trigo con un 43.57 expresando diferente significativas entre los dos raviolos para el HI y pGI.

Estudios realizados por Angioloni *et al.* (2012) donde evaluaron el contenido de AR y la digestibilidad *in vitro* de panes de harina de trigo refinada con leguminosas (20 % garbanzo, 20 % chícharo, 2 % frijol) reportaron valores mayores de HI (77.00) y

IG (74.57) sin observar una disminución en el alimento en estudio que lo coloque dentro de un alimento de bajo índice glicémico.

De acuerdo con Osorio-Díaz *et al.* (2008) reportaron un incremento importante de AR (24 %) y una disminución del IG de 10 % en espaguetis con una sustitución del 20 % (harina de garbanzo). El bajo contenido que se obtuvo en la predicción del IG, puede estar relacionado con el incremento de almidón retrogradado (AR3) que se forma por el proceso térmico que sufre el frijol y enfriamientos durante la elaboración de la harina de frijol. La sustitución completa de harina de trigo para personas intolerantes al gluten y el beneficio del consumo de una pasta con bajo índice glicémico comparado con una pasta de harina de trigo es una alternativa para este grupo de personas. El raviol desarrollado es una buena alternativa para poblaciones con esta necesidad por la intolerancia al gluten que presentan así mismo, también es una alternativa para aquellas con problemas de resistencia a la insulina y personas que no padecen ninguno problema pero que busca de alternativas diferente a lo que está en el mercado con beneficios.

Se ha demostrado que la pasta a partir de leguminosas o mezclas trigo-leguminosa, tiene propiedades que pueden dar beneficios a las personas que la consume. Goñi & Valentin-Gamazo (2003) evaluaron una pasta con 100 % de trigo durum y otra de una mezcla (75/25) con harina de garbanzo, demostrando que la pasta de la mezcla disminuyo a IG (58), lo que puede ayudar en la formulación en la industria.

Cuadro 24. Índice de hidrólisis (HI) y predicción del índice glucémico (GI) de raviol de frijol Negro extrudido y raviol de harina de trigo.

Muestra	HI	pGI
PBr	100 ± 0.00	94.00 ± 0.00
RN	36.33 ± 0.06	39.65 ± 0.54
RH	40.86 ± 0.01*	43.57 ± 0.01*

Los resultados son las medias de 3 réplicas ± la desviación estándar, expresado en porcentaje. Los valores con * en la misma columna expresan diferencias significativas $\alpha=0.05$ en las pruebas de T student. RN= Raviol de frijol Negro extrudido; RH= Raviol de harina.

VII.3.4 Evaluación microbiológica del raviol de harinas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.).

Se sometieron a análisis microbiológico en el laboratorio de LECRIMA en la Universidad Autónoma de Querétaro (Cuadro 25). Las harinas y raviolos crudos de harina de frijol negro extrudido y presentaron contenidos de bacterias mesófilas aerobias y de coliformes totales dentro de los límites máximos permitidos en la Norma Oficial Mexicana de referencia. Los coliformes totales se encontró un mayor contenido en los raviolos crudos comprado con la harina (HFNE), la presencia de estos microorganismos esta relacionados con un indicio de malas prácticas higiénicas. Sin embargo, el contenido de hongos y levaduras fue <10 UFC g⁻¹ en los raviolos crudos, la presencia de estos microorganismos que crecieron pueden ser resultado de los tratamientos de secado de la harina y el almacenamiento.

Estudios realizados por Ricci *et al.*, (2017) donde evaluaron la calidad microbiana en pastas frescas de trigo industriales y artesanales, mostraron valores de BMA de $3.4-3.5 \times 10^5$ UFC g⁻¹ valores considerados altos en pasta y la presencia de coliformes en ravioli (24000 UFC g⁻¹) siendo menor a los encontrados en los raviolos (7200 UFC g⁻¹)

Las condiciones de almacenamiento, tales como el contenido de humedad de la pasta fresca, la temperatura y el tiempo de almacenamiento, son factores críticos en el control de microorganismos. Esta carga de microorganismo puede estar

relacionado con el tiempo de almacenamiento, las malas prácticas de almacenamiento.

Durante proceso de obtención del raviol se emplearon equipos de uso común, en donde se procesan otros tipos de alimentos lo cual podría haber generado una contaminación cruzada durante la preparación de la pasta. También es importante considerar que el remojo de la semilla pudo ser un factor que generó el incremento en la carga microbiana presente tanto en la harina como en los ravioles. . Poblaciones elevadas de hongos y levaduras en los alimentos pueden disminuir la vida de anaquel del producto y por ende pérdidas económicas al productor (NOM-SSA1-2008). Los resultados de los análisis microbiológicos revelaron que la calidad microbiana de la harina y del raviol crudo no es la óptima. Es claro que la cocción de los ravioles que típicamente es de 8-12 min a 100 °C puede disminuir las poblaciones de bacterias mesófilas, coliformes totales, hongos y levaduras. Sin embargo, es importante mejorar las buenas prácticas durante la obtención de las harinas y la preparación de los ravioles para evitar situaciones riesgosas. Es recomendable revisar y verificar el saneamiento de los equipos empleados durante la obtención de las harinas y la preparación de los ravioles, las condiciones de almacenamiento (tiempo y temperatura) de la materia prima y los ravioles, la calidad de la materia prima que se emplea, entre otros

Cuadro 25. Evaluación microbiológica de harina de frijol Negro extrudido y raviol crudo de frijol Negro extrudido.

Muestra	BMA (UFC g-1)	Bacterias coliformes totales (UFC g-1)	Levaduras (UFC g-1)	Mohos (UFC g-1)
HFNE	15 000	85000	<50	<10
RN	72 000	54000	<10	<10

Los resultados de laboratorio LECRIMA por los métodos de análisis:

NOM-092-SSA1-1994 Bienes y servicios método para la cuenta de bacterias aerobias en placa.

NOM-111-SSA1-1994 Bienes y servicios método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos

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

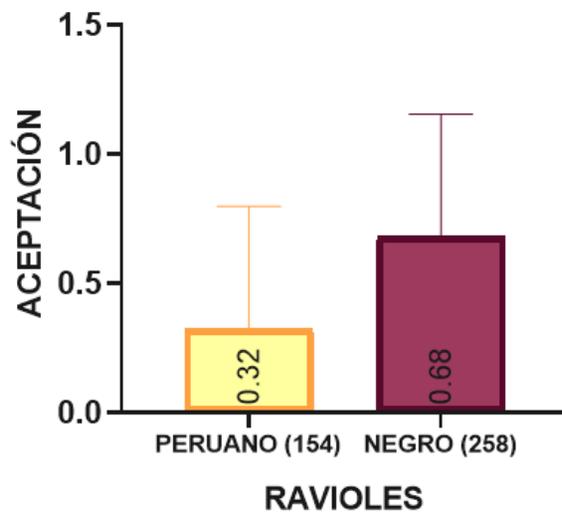
HFNE= Harina de frijol Negro extrudido; RN= Raviol de frijol Negro extrudido.

VII.4 Evaluación sensorial del raviol de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.)

Una forma de poder evaluar la aceptación de un producto alimenticio es mediante la utilización de paneles de jueces entrenados y no entrenados con el objetivo de medir los tributos específicos del alimento en estudio.

Dentro del análisis sensorial se realizó una evaluación sensorial discriminativa, donde se buscó que una de las dos muestras de ravioles (Peruno y Negro) se seleccionará, se solicitó a cada panelista que eligiera una de las dos muestras por su preferencia. Como resultado de la evaluación el raviol de frijol Negro por extrusión tuvo la mejor aceptación los resultados se muestran en la gráfica (**Figura 12**).

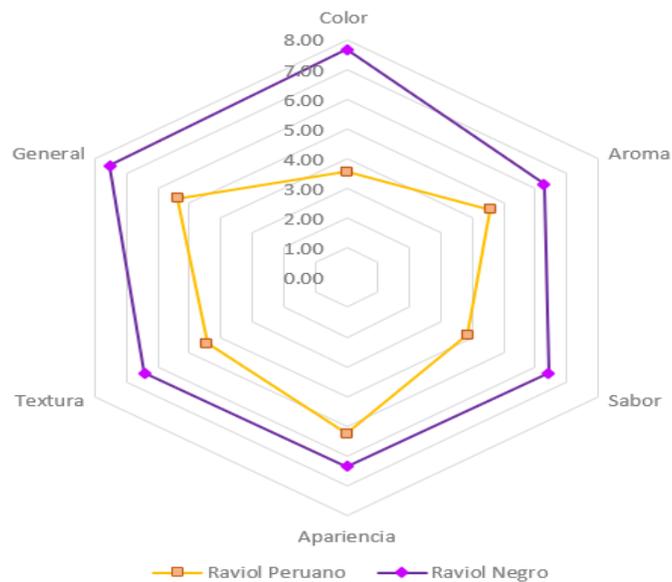
Figura 12. Evaluación discriminativa de ravioles



Se realizó la prueba de valoración de la aceptación es la evaluación sensorial descriptiva con una escala hedónica de 9 puntos que ayuda a evaluar los atributos como: color, aroma, sabor, apariencia, textura y aspecto general de un alimento. Para esta investigación se realizó la evaluación sensorial descriptiva de los raviolos obtenidos de las harinas extrudidas de las dos variedades, donde los resultados obtenidos se muestran en la **Figura 13**. Los resultados obtenidos del análisis se plasmaron en una gráfica radial que permite visualizar el perfil sensorial completo del raviol de harina extrudida de frijol peruana y raviol de harina extrudida de frijol Negro. El raviol con mayor aceptación fueron el raviol de harina extrudida de frijol Negro donde el parámetro de color fue el atributo de mayor calificación, seguido del aspecto general donde se observó que para el evaluador la forma y firmeza de la pasta son aspectos importantes para la selección del raviol. Para el aroma, sabor y apariencia mostraron un comportamiento parecido, pero de carácter importante para la elección del panelista dándole valores altos dentro de la escala. Los nueve atributos sensoriales evaluados tuvieron una mayor aceptación por el raviol diferente a lo existente en el mercado, dándole un carácter innovador. En términos

generales en ambas pruebas el mejor raviol, con mayor aceptabilidad y propiedades químicas fue el raviol de harina extrudida de frijol Negro.

Figura 13. Evaluación sensorial de escala hedónica de 9 puntos

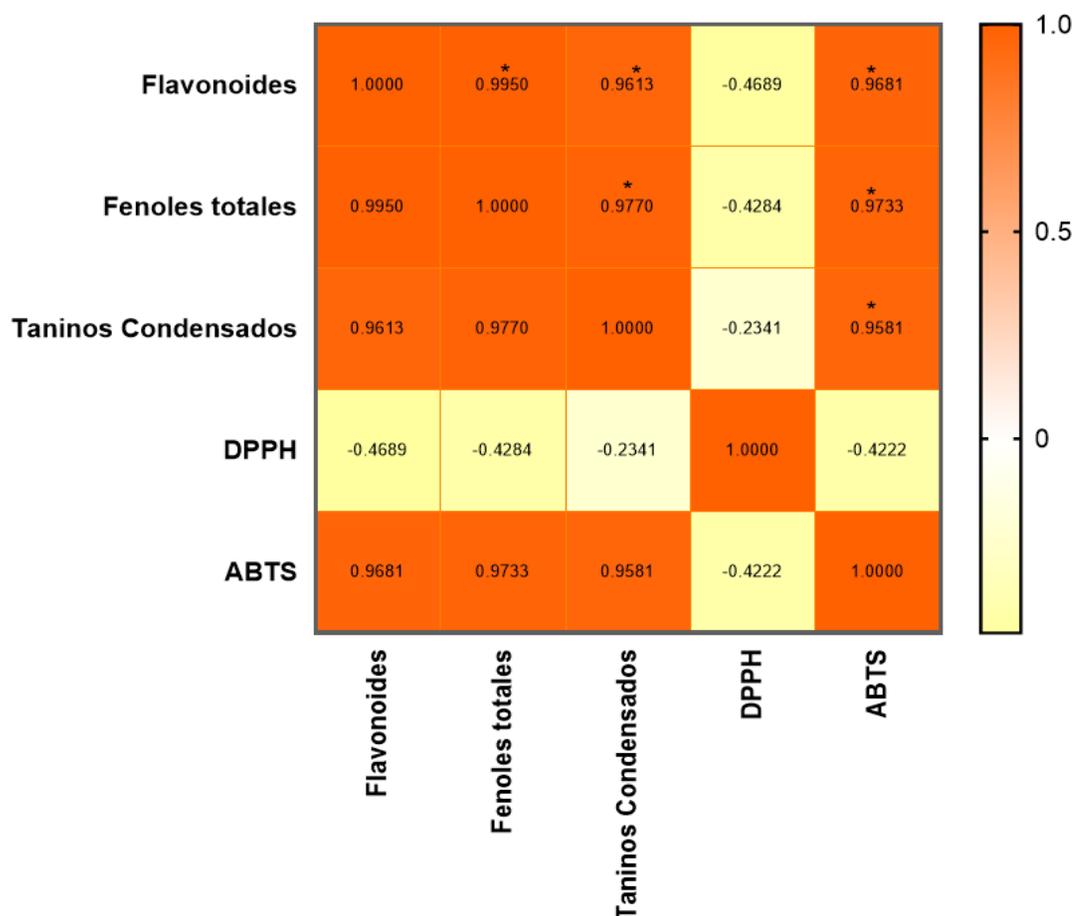


En esta investigación se midieron numerosas variables de las dos matrices en estudio y es importante determinar si existe asociación entre las variables en estudio por lo que se utilizó el análisis de correlación de Pearson para determinar la asociación lineal entre dos variables cuantitativas continuas al obtener r (coeficiente de correlación de Pearson) con una distribución normal bivariada. Existen dos aspectos que considerar en este análisis, la magnitud y su signo. La magnitud refleja la intensidad de la asociación entre dos variables en una escala (0-1), donde los valores cercanos a cero indican que las variables no están asociadas, es decir, que el valor de una variable es independiente del valor de la otra.

El signo, por su parte, refleja cómo están asociados los valores de ambas variables. Si el signo es positivo indica que a valores altos de una variable corresponden valores altos de la otra variable y a valores bajos de una variable corresponde a

valores bajos de la otra. Para el caso donde el signo es negativo indica que a valores altos de una variable corresponden valores bajos de la otra. Entonces cuando el signo es positivo indican que los valores de ambas variables cambian en el mismo sentido, mientras que para el signo negativo indica que cambian en sentido contrario. La aplicación de los diferentes métodos de cocción aplicados para la obtención de harinas muestra un efecto significativo ($p > 0.05$) entre el contenido entre capacidad antioxidante y compuestos fenólicos. Dada la correlación se observó en las harinas de frijol Peruano tienen una relación significativa, si la cantidad de fenoles totales aumenta, también la cantidad de flavonoides (0.995). Al igual la cantidad de taninos aumenta, al cantidad aumenta de fenoles totales (0.977) y flavonoides (0.961). Para la capacidad antioxidante evaluadas por los métodos DPPH y ABTS, se observó un comportamiento donde, al haber más flavonoides, fenoles totales y taninos condensados, hay mayor capacidad antioxidante ABTS y no así en DPPH. El método de tostado (sin pretratamiento) se ve favorecido con este comportamiento en el contenido de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante.

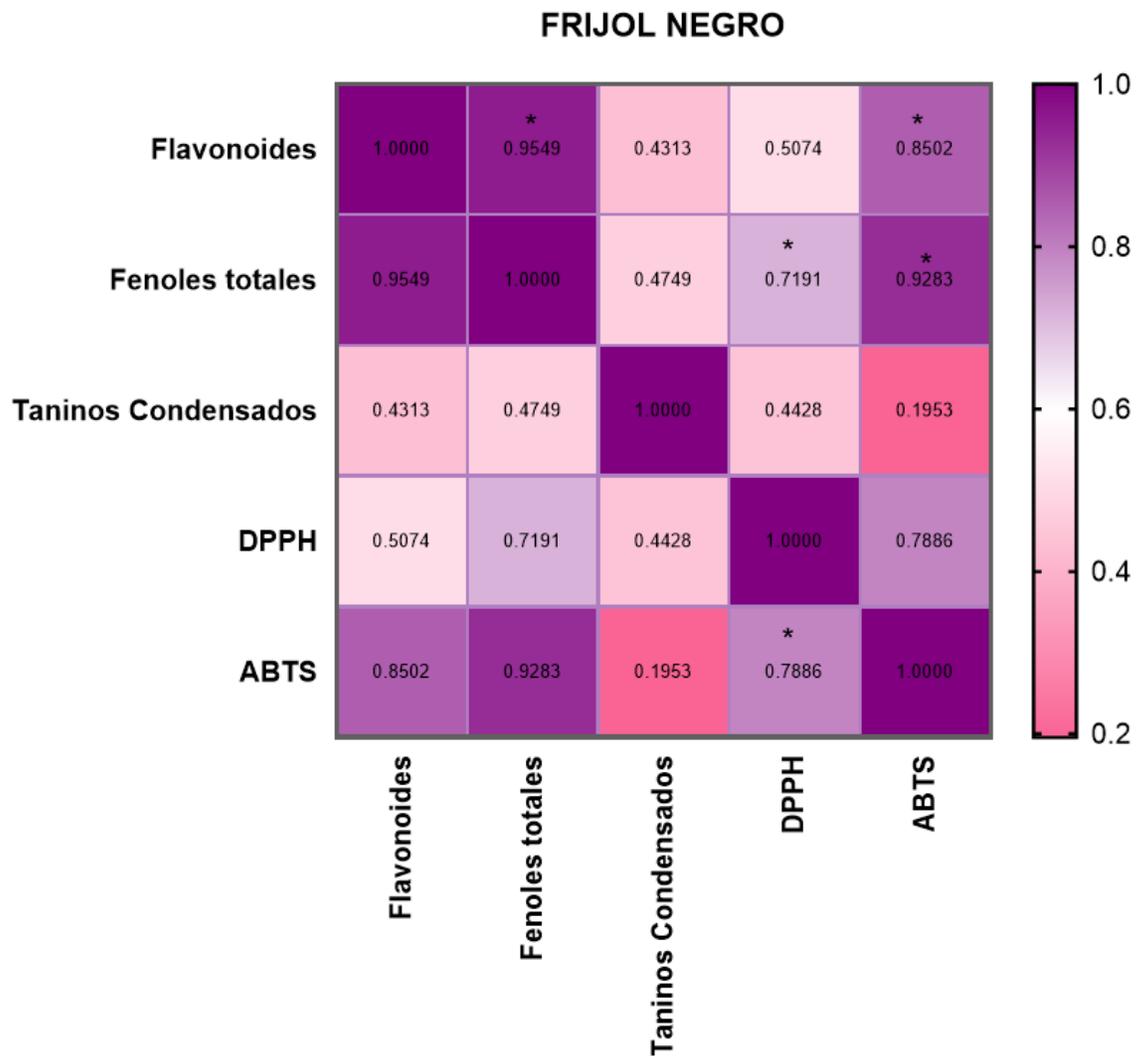
FRIJOL PERUANO



En las harinas evaluadas del frijol Negro común se observó que los métodos de cocción, los tiempos y los pretratamientos aplicados mostraron diferencias significativas ($p > 0.05$) entre los compuestos de interés. Existe una relación, que entre mayor es la cantidad de fenoles totales, también es favorecida la cantidad de flavonoides (0.954) y no así con los fenoles totales, taninos condensados y flavonoides. La capacidad antioxidante muestra una relación significativa entre la cantidad de flavonoides con DPPH y su relación con ABTS no es significativa.

La cantidad de flavonoides y fenoles totales muestran una relación significativa con ABTS y no así con DPPH. La capacidad antioxidante puede verse afectado en los tratamientos con remojo al presentar una menor cantidad de estos compuestos y no

mostrar una relación significativa por la lixiviación de estos compuesto en le agua de remojo.



VIII. CONCLUSIONES

La aplicación de los diferentes métodos de cocción para la obtención de las harinas tuvo un efecto significativo ($p > 0.05$) en la composición química y nutracéutica con un mayor contenido en el tostado seguido de la extrusión y por último la cocción tradicional para las dos variedades.

La composición química, nutracéutica y fisicoquímica de las harinas extrudidas en las dos variedades de frijol fueron las mejores para la elaboración de raviolos. Aunque hubo una disminución en el contenido de compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante, la concentración final no difirió en gran medida de la observada en las harinas obtenidas por cocción tradicional.

Las harinas de frijol tostado de las dos variedades tuvieron un mejor perfil nutracéutico pero, presentan poca absorción y mayor solubilidad en agua, lo que no permite su adecuada cohesividad para la formulación de pastas. Se sugiere su empleo en la formulación de alimentos de cocción profunda en aceite, para empanizar o espesante por mencionar algunas aplicaciones.

Las harinas extrudidas presentaron una mayor solubilidad y menor absorción de agua en comparación con las harinas por cocción tradicional, este comportamiento se observó en las dos variedades las harinas extrudidas y mostraron buenas propiedades tecnofuncionales (absorción de agua y aceite y solubilidad) para su uso en el desarrollo de productos como pastas cortas y masas.

Se logró el objetivo de esta investigación al desarrollar un raviol a base de harina de frijol mediante la tecnología de extrusión en las dos variedades evaluadas, siendo el raviol de frijol negro el de mayor aceptación durante la evaluación sensorial.

La predicción del índice glicémico (pIG) del raviol de frijol negro extrudido mostró que podría ser un alternativa al consumo de pastas para los consumidores

intolerantes al gluten con mejor perfil de proteína, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante.

La extrusión tienen ventajas sobre los otros tratamientos térmicos aplicados, en la funcionalidad tecnológica, nutricional y el desarrollo del raviol, sin embargo, las harinas obtenidas por los métodos de cocción tradicional y tostado se pueden emplear como: espesantes, frituras, cubiertas, embutidos, panificación y formulación de productos libres de gluten.

El empleo harinas de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) como ingrediente mayoritario en pastas como el raviol favorece el perfil nutricional y nutracéutico del alimento siendo una propuesta innovadora, nutritiva y libre de gluten, que puede beneficiar a las personas intolerantes al gluten, enfermedad celiaca y veganos.

IX BIBLIOGRAFÍA

- Abdel-Aal, E., & Hucl, P. (2002). Amino acid composition and *in vitro* protein digestibility of selected ancient wheats and their end products. *Journal of Food Composition and Analysis*, 15(6), 737-747. doi: <https://doi.org/10.1006/jfca.2002.1094>
- Abreu, M. P., Hernández, T. M., Castillo, P. A., Sampere, D. E., & Martínez, G. . (1995). Evaluación nutricional y toxicológica de dos variedades de amaranto de semillas de color Negro (A. Urunguesis y A. Maurensis). *Revista Cubana de Alimentos y Nutrición*, 9(2).
- Aguilar, N., Albanell, E., Miñarro, B., & Capellas, M. (2015). Chickpea and tiger nut flours as alternatives to emulsifier and shortening in gluten-free bread. *LWT- Food Science and Technology*, 62(1), 225-232. doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.12.045>
- Aguilera, Y., Martín-Cabrejas, M. A., Benítez, V., Mollá, E., López-Andréu, F. J., & Esteban, R. M. (2009). Changes in carbohydrate fraction during dehydration

- process of common Legumes. *Journal Food Composition and Analysis*, 22(7-8), 678-683. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2009.02.012>
- Alam, S., Järvinen, J., Kokkonen, H., Jurvelin, J., Poutanen, K., & Sozer, N. (2016). Factors affecting structural properties and invitro starch digestibility of extruded starchy foams containing bran. *Journal of Cereal Science*, 71, 190-197. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.08.018>
- Amrein, T., Schönbacher, B., Escher, F., & Amadò, R. (2004). Acrylamide in gingerbread: Critical factors for formation and possible ways for reduction. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 52(13), 4282-4288. doi: <https://doi.org/10.1021/jf049648b>
- Angioloni, A., & Collar, C. (2012). High legume-wheat matrices: an alternative to promote bread nutritional value meeting dough viscoelastic restrictions. *European Food Research and Technology*, 234(2), 273-284. <https://doi.org/10.1007/s00217-011-1637-z>
- Aparicio-Fernández, X., Yousef, G., Loarca-Piña, G., De Mejia, E., & Lila, M. (2005). Characterization of polyphenolics in the seed coat of black Jamapa bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53(11), 4615-4622. doi: <https://doi.org/10.1021/jf047802o>
- Avivi, G. C., Polak, C. S., Madar, Z., & Schwartz, B. (2002). Different molecular events account for butyrate-induced apoptosis in two human colon cancer cell lines. *The Journal of Nutrition*, 132(7), 812-818. doi: <https://doi.org/10.1093/jn/132.7.1812>
- Azarpazhooh, E., & Boye, J. (2012). Composition of processed dry beans and pulses. In M. Siddiq, & M.A.Uebersax (Eds.) *Dry beans and pulses production, processing and nutrition*, John Wiley & Sons, Ltd Chapter 5, pp. 103-128.
- Bautista, K., Prudencio, S., & Fernandes. (2010). Changes in the functional properties and antinutritional factors of extruded hard-to-cook common beans (*Phaseolus vulgaris*, L.). *Food Science and Technology*, 75(3), 286-290. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2021.01557.x>

- Belmar, R. (2001). Importancia de los factores antinutricionales en el alimento en animales no rumiantes. *Congreso de veterinaria , memorias del IX congreso de veterinaria*, (pp. 34-54). México.
- Berrios, J. D., Morales, P., Cámara, M., & Sánchez-Mata, M. C. (2010). Carbohydrate composition of raw and extruded pulse flours. *Food Research International*, 43(2), 531-536. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.035>.
- Bhandari, B., D'Arcy, B., & Young, G. (2001). Flavour retention during high temperature short time extrusion cooking process: a review. *International journal of Food Science and Technology*, 36(5), 453-461. doi: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2001.00495.x>
- Björck, I., Granfeldt, Y., Liljeberge, H., Tovar, J., & Asp, N. (1994). Food properties affecting the digestion and absorption of carbohydrates. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 59(3), 699s-705s. doi: <https://doi.org/10.1093/ajcn/59.3.699S>
- Boateng, J., Verghese, M., Walker, L., & Ogutu, S. (2008). Effect of processing on antioxidant contents in selected dry beans (*Phaseolus* spp. L.). *LWT-Food Science and Technology*, 41(9), 1541-1547. doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.11.025>. [No está en texto](#)
- Bourdon, I., Olson, B., Backus, R., Richter, B., Davis, P., & Schneeman, B. (2001). Beans as a source of dietary fiber, increase cholecystokinin and apolipoprotein B48 response to test meals in men. *Journal of Nutrition*, 131(5), 1485-1490. doi: <https://doi.org/10.1093/jn/131.5.1485>
- Boye, J., Zare, F., & Pletch, A. (2010). Pulse proteins: Processing, characterization, functional properties and applications in food and feed. *Food Research International*, 43(2), 414-431. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.003>

- Brand, J., Nicholson, P., Thorburn, A., Truswell, A., Brand, C., & Nicholson, L. (1985). Food processing and the glycemic index. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 42(6), 1192-1196. doi: <https://doi.org/10.1093/ajcn/42.6.1192>
- Bravo, L., Siddhuraju, P., & Saura-Calixto, F. (1998). Effect of various processing methods on the *in vitro* starch digestibility and resistant starch content of Indian pulses. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 46(11), 4667-4674. doi: <https://doi.org/10.1021/jf980251f>. Unifica solo son 3 autores
- Brune, M., Rossander, L., & Hallberg, L. (1989). Iron absorption and phenolic compounds: importance of different phenolic structures. *European Journal of Clinical Nutrition*, 43(8), 547-557.
- Byars, J., Singh, M., & Kenar, J. (2017). Effect of hydrocolloids on functional properties of navy bean starch. *Starch / Stärke*, 69(7-8), 1600305. doi:<https://doi.org/10.1002/star.201600305>
- Cardador-Martínez, A., Loarca-Piña, G., & Oomah, B. D. (2002). Antioxidant activity in common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50 (24), 6975-6980. doi: <https://doi.org/10.1021/jf020296n>
- Caio, G., Volta, U., Sapone, A., Leffler, D., De Giorgio, R., Catassi, C., & Fasano, A. (2019). Celiac disease: a comprehensive current review. *BMC Medicine*, 17(142), 1-20. doi: <https://doi.org/10.1186/s12916-019-1380-z>
- Camire, M. (2000). *Chemical and Nutritional Changes in Food during Extrusion 1* (Vol. 1st Edition).
- Campos-Vega, R., Loarca, P. M.G., & Oomah, B.D. (2010). Minor components of pulses and their potential impact on human health. *Food Research International*, 43(2), 461-482. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.004>

- Campos-Vega, R., Oomah, B. D., Loarca, P. G., & Vergara, C. H. (2013). Common beans and their non-digestible fraction: Cancer Inhibitory Activity-An Overview. *Foods*, 2(3), 374-392. doi: <https://doi.org/10.3390/foods2030374>
- Campos-Vega, R., Reynoso, C. R., Pedraza, A. G., Acosta, G. J., Guzman, M. S., Paredes, L. Oomah, G., Loarca-Piña L. (2009). Chemical composition and *in vitro* polysaccharide fermentation of different beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Food Science*, 74(7), 59-65. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2009.01292.x>
- Castillejo, G., Fernández, F., Esteve, M., Mascort, J., Ortola, E., & Villar-Balboa, I. (2016). *Document de consens sobre la malaltia celíaca a Catalunya*. Barcelona, 13-28.
- Catassi, C., Gatti, S., & Fasano, A. (2014). The new epidemiology of celiac disease. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, 59(7-9). doi: <https://doi.org/10.1097/01.mpg.0000450393.23156.59>
- Catassi, C., Kryszak, D., Bhatti, B., Sturgeon, C., Helzlsouer, K., Clipp, S., . Sferuzza, A. &. (2010). Natural history of celiac disease autoimmunity in a USA cohort followed since 1974. *Annals of Medicine*, 42(7), 530-538. doi: <http://doi.org/10.3109/07853890.2010.514285>
- Chaparro, D. C., Porrilla, Y., & Elizalde, A. d. (2009). Factores antinutricionales en semillas. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 7(1), 45-54.
- Chávez, M. C., & Sánchez, E. (2017). Bioactive Compounds from Mexican Varieties of the Common Bean (*Phaseolus vulgaris*): Implications for Health. *Molecules*, 22(8),1360.doi: <https://doi.org/10.3390/molecules22081360>
- Chávez, S. R., Lazo, V. M., Serna, S. S., & Gutiérrez, U. J. (2016). Delivery of flavonoids and saponins from black bean (*Phaseolus vulgaris*) Seed Coats Incorporated into Whole Wheat Bread. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(2), 222. doi: <https://doi.org/10.3390/ijms17020222>

- Chavez-Gonzalez, M., Buenrostro-Figueroa, J., & Aguilar, C. (2021). *Handbook of Research on Food Science and Technology*. (Vol. 3). Palm Bay, Florida, USA: Apple Academic Press.
- Chávez-Mendoza, C., & Sánchez, E. (2017). "Bioactive compounds from mexican varieties of the common bean (*Phaseolus vulgaris*): Implications for health". *Molecules*, 8(1360), 22 . doi: <https://doi.org/10.3390/molecules22081360>
- Chiavaroli, L. D., Dall'Asta, M., Cossu, M., Francinelli, V., Goldoni, M., Scazzina, F., & Brighenti, F. (2021). The importance of glycemic index on post-prandial glycaemia in the context of mixed meals: a randomized controlled trial on pasta and rice. *Nutrition Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 31(2), 615-625. doi: <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2020.09.025>
- Chillo, S., Suriano, N., Lamacchia, C., & Del Nobile, M.A.(2009). Effects of additives on the rheological and mechanical properties of non-conventional fresh handmade tagliatelle. *Journal of Cereal Science*, 49(2), 163-170. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.09.002>.
- Chung, H., Liu, Q., & Hoover, R. (2009). Impact of annealing and heat-moisture treatment on rapidly digestible, slowly digestible and resistant starch levels in native and gelatinized corn, pea and lentil starches. *Carbohydrate Polymers.*, 75(3), 436-447. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2008.08.006>
- CIAT, Centro Internacional de Agricultura Tropical. (1984). Morfología de la planta de frijol común: guía de estudio para ser usada como complemento de la Unidad Audio tutorial sobre el mismo tema. Contenido Científico: Debouck, Daniel G.; Hidalgo Rigoberto. Cali, Colombia. CIAT. 56 P. (Serie 04SB-09.01).
- Cleary, L., & Breannan, C. (2006). The influence of a (1→3)(1→4)-β-d-glucan rich fraction from barley on the physico-chemical properties and in vitro reducing sugars release of durum wheat pasta. *International Journal of Food Science and Technology*, 41(8), 910-918. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.01141.x>

- Clifford, M. (1979). Chlorogenic acids—their complex nature and routine determination in coffee beans. *Food Chemistry*, 4(1), 63-71. doi: [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(79\)90031-1](https://doi.org/10.1016/0308-8146(79)90031-1)
- Cobos, Q. O., Hernández, H. G., & Remes, T. J. (2017). Transtornos relacionados con el gluten: Panorama actual. *Medicina Interna de México*, 33(4), 487-502.
- Cole, M. (1991). Prediction and measurement of pasta quality. *International Journal of Food Science and Technology*, 26(3), 133-151. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1991.tb01149.x>
- Colonna, P., & C., M. (1985). Gelatinization and melting of maize and pea starches with normal and high amylose genotypes. *Phytochemistry*, 24(8), 1667-1674. doi: [https://doi.org/10.1016/S0031-9422\(00\)82532-7](https://doi.org/10.1016/S0031-9422(00)82532-7)
- Colonna, P., & Champ, M. (1990). Significance of starch damage in feeds. *Sciences Des Aliments*, 10, 877-897.
- Colonna, P., & Champ, M. (1990). Significance of starch damage in feeds. *Sciences des aliments*, 10, 877-897.
- Colonna, P., Barry, J., Cloarec, D., Bornet, F., Gouilloud, S., & Galmiche, J. (1990). Enzymic susceptibility of starch from pasta. *Journal of Cereal Science*, 11(1), 59-70. doi: [https://doi.org/10.1016/S0733-5210\(09\)80181-1](https://doi.org/10.1016/S0733-5210(09)80181-1).
- Colonna, P., Tayeb, J., & Mercier, C. (1989). Extrusion cooking of starch and starchy products, in Extrusion Cooking. *Mercier, C., Linko, CP y Harper, JM. (Ed.)*, 247-319.
- Corazza, G., Andreani, M. L., Biagi, F., & et. al. (1997). The smaller size of the "coeliac iceberg" in adults. *Scandinavian Journal Gastroenterology*, 32(9), 917-919. doi: <https://doi.org/10.3109/00365529709011202>
- Cornejo, F., & Rosell, C. (2015). Physicochemical properties of long rice grain varieties in relation to gluten free bread quality. *LWF-Food Science and Technology*, 62(2), 1203-1210. doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.01.050>
- Costa de Oliveira, A., Silva, Q. K., Machado, S., & Carraro, F. (2001). Processamento domestico do feijao-comun ocasionau uma reducao nos fatores antinutricionais fitato e taninos, no teor de amido e em factorea de

flatulencia rafionse, estaquiose e verbascose. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 51(3), 276-283.

Cotapallapa-Sucapuca, M., Vega, E., Maieves, H., Berrios, J., Morales, P., Fernández-Ruiz, V., & Cámara, M. (2021). Extrusion process as an alternative to improve pulses products consumption. *Review. Food (Basel, Switzerland)*, 10(5), 1096. doi:<https://doi.org/10.3390/foods10051096>

D'Mello, J. (2000). Anti-nutritional factors and mycotoxins. En D. J.P.F., *Farma animal metabolism and nutrition* (págs. 383-403). Inglaterra: Biotechnology Department, Scottish Agricultural College, Edinburgh, UK. doi: <http://doi.org/10.1079/9780851993782.0383>

Daun, J. K., Barthet, V. J., Chornick, T. L., & Duguid, S. (2003). *Structure, composition, and variety development of flaxseed*. (Vol. 2). Winnipeg, Manitoba, Canada: Thompson, L. U.; Cunnane, S. C.

De Almeida Costa, G., da Silva, Q.-M. K., Reis, S., & de Oliveira, A. (2006). Chemical composition, dietary fibre and resistant starch contents of raw and cooked pea, common bean, chickpea and lentil legumes. *Food Chemistry*, 94(3), 327-330. doi: <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.11.020>

Decker, E. A. (1997). Phenolics: prooxidants or antioxidants?. *Nutritional Reviews*. *Nutrition reviews*, 55(11), 396-398. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.1997.tb01580.x>. No está en texto

Derache, R. (1990). *Toxicología y seguridad de los Alimentos*. España, España: OMEGA.

Di Pede, G., Dodi, R., Scarpa, C., Brighenti, F., Dall'Asta, M., & Scazzina, F. (2021). Glycemic index values of pasta products: An Overview. *Foods*, 10(11), 2541. doi: <https://doi.org/10.3390/foods10112541>

Díaz, A., Caldas, G., & Blair, M. (2010). Concentrations of condensed tannins and anthocyanins in common bean seed coats. *Food Research International*, 43(8), 595-601. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.07.014>

- Ding, Q. B., A. P., Plunkett, A., Tucker, G., & Marson, H. (2006). The effect of extrusion conditions on the functional and physical properties of wheat-based expanded snacks. *Journal of Food Engineering*, 73(2), 142-148. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2005.01.013>.
- Dinu, M., Abbate, R., Gensini, G. F., Casini, A., & Sofi, F. (2017). Vegetarian, vegan diets and multiple health outcomes: A systematic review with meta-analysis of observational studies. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(17), 3640-3649. doi: <https://doi.org/10.1080/10408398.2016.1138447>
- Domínguez-Uscanga, C., Loarca-Piña, G., & Mejía, G. d. (2017). Baked corn (*Zea mays* L.) and bean (*Phaseolus vulgaris* L.) snack consumption lowered serum lipids and differentiated liver gene expression in C57BL/6 mice fed a high-fat diet by inhibiting PPAR γ and SREBF2. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, 50, 1-15. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2017.08.011>
- Duprat, F., Gallant, D., Guilbot, A., Mercier, C., & Robin, J. (1980). L'amidon (Starch). Inles polyme`res ve`ge`taux (VegetablePolymers). *Guathier Villars*, 176-231.
- Duranti, M. (2006). Grain legume proteins and nutraceutical properties. *Fitoterapia*, 77(2), 67-82. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2005.11.008>
- EFSA, E. F. (2015). *Scientific opinión on acrylamide in food*. EFSA Online library, Wiley. Obtenido de <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.2903/j.efsa.2015.4104>
- Eknayake, S., Jansz, E., & Nair, B. (1999). Proximate composition, mineral and amino acid content of mature *Canavalia gladiata* seeds. *Food Chemistry*, 66(1), 115-119. doi: [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(99\)00041-2](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(99)00041-2)
- El-Financiero. (29 de 04 de 2021). *El financiero*. Obtenido de <https://www.elfinanciero.com.mx/empresas/covid-19-impulsa-48-las-ventas-de-las-pastas-en-los-supermercados/#:~:text=M%C3%A9xico%20destaca%20a%20nivel%20mundial,c%C3%A1pita%20al%20a%C3%B1o%20seg%C3%BAn%20Stati%20sta>.

Emenaker, N. J., Calaf, G. M., Cox, D., Basson, M. D., & Qureshi, N. (2001). Short-chain fatty acids inhibit invasive human colon cancer by modulating uPA, TIMP-1, TIMP-2, mutant p53, Bcl-2, Bax, p21 and PCNA protein expression in an *in vitro* cell culture model. *The Journal of Nutrition*, 131(11), 3041-3046. doi: <https://doi.org/10.1093/jn/131.11.3041S>

En-alimentos. (29 de abril de 2021). *En Alimentos*. Obtenido de <https://enalimentos.lat/noticias/2084-mexicanos-aumentan-consumo-de-sopa-de-pasta-por-covid-19-nielsen.html>

ENSANUT. (2018). *Encuesta Nacional de Salud y Nutrición*. Obtenido de https://ensanut.insp.mx/encuestas/ensanut2018/doctos/informes/ensanut_2_018_presentacion_resultados.pdf

Escobedo, A., Loarca-Piña, G., Gaytan-Martínez, M., Orozco-Avila, I., & Mojica, L. (2020). Autoclaving and extrusion improve the functional properties and chemical composition of black bean carbohydrate extracts. *Journal of Food Science*, 85(9), 2783-2791. doi:<https://doi.org/10.1111/1750-3841.15356>

Escudero, Á. E., & González, S. P. (2006). La fibra dietética. *Nutrición Hospital*, 21(2), 61-72.

Espinosa-Solis, V., Zamudio-Flores, P., Tirado-Gallegos, J., Ramírez-Mancinas, S., Olivas-Orozco, G., Espino-Díaz, M., Baeza-Jiménez, R. (2019). Evaluation of cooking quality, nutritional and texture characteristics of pasta added with oat bran and apple flour. *Foods*, 8(8), 299. doi: <https://doi.org/10.3390/foods8080299>

Fan, P.-H., Zang, M.-T., & Xing, J. (2015). Oligosaccharides Composition in eight food legumes species as detected by high-resolution mass spectrometry. *Journal of the Science of Food Agriculture*, 95(11), 2228-2236. doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.6940>.

FAO. (2017). *Food Outlook-Biannual Report on Global Food Markets*. Rome, Italy: FAO. Obtenido de <https://www.fao.org/3/i7343e/i7343e.pdf>

- FAO. (19 de abril de 2021). *Food and Agriculture Organization*. Obtenido de FAO: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Fares, C., Platani, C., Baiano, A., & Menga, V. (2010). Effect of processing and cooking on phenolic acid profile and antioxidant capacity of durum wheat pasta enriched with debranning fractions of wheat. *Food Chemistry*, 119, 1023-1029.
- Fasano, A., & Catassi, C. (2012). Celiac Disease. *The New England Journal of Medicine*(367), 2419-2426. doi: <http://doi.org/10.1056/nejmcp1113994>
- Fedeniuk, R., & Biliaderis, C. (1994). Composition and physicochemical properties of linseed (*Linum usitatissimum* L.) mucilage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 42(2), 240-247. doi: <https://doi.org/10.1021/jf00038a003>
- Fleming, S. E. (1981). study of relationships between flatus potential and carbohydrate distribution in legume seeds. *Journal Food Science.*, 46, 794-498.
- Florez, A., Pujolá, M., Valero, J., Centelles, E., Almirall, A., & Casañas, F. (2009). Genetic and environmental effects on chemical composition related to sensory traits in common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food Chemistry*, 113(4), 950-956. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.08.036>
- Fuentes-Zaragoza, E., Riquelme-Navarrete, M., Sánchez-Zapata, E., & Pérez-Álvarez, J. (2010). Resistant starch as functional ingredient: A review. *Food Research Internacional*, 43(4), 931-942. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.02.004>. No está en texto
- Feregrino-Peréz, A.A., Berumen, L.C., García-Alcocer, G., Guevara-Gonzalez, R.G., Ramos-Gómez, M., Reynoso-Camacho, R., Acosta-Gallegos, J. A., & Loarca-Piña, G.(2008). Composition and chemopreventive effect of polysaccharides from common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) on azoxymethane-induced colon cancer. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 56(18), 8737-8744. doi: <https://doi.org/10.1021/jf8007162>

- Figuroa, M.O., Mancini, J.F., Lajolo, F.M. (1984). Antinutritional effect of phythemagglutinins of *Phaseolus vulgaris* L. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 34(3), 488-499. No está en texto
- Florez, A., Pujolá, M., Valero, J., Centelles, E., Almirall, A., & Casañas, F. (2009). Genetic and environmental effects on chemical composition related to sensory traits in common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food Chemistry*, 113(4), 950-956. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2008.08.036>
- Fukumoto, L.R., & Mazza, G. (2000). Assessing antioxidant and prooxidant activities of phenolic compounds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 48(8), 3597-3604. doi: <https://doi.org/10.1021/jf000220w>
- Gallant, D. J., Bouchet, B., Buléon, A., & Pérez, S. (1992). Physical characteristics of starch granules and susceptibility to enzymatic degradation. *European Journal of Clinical Nutrition*, 46(2), 3-16. Obtenido de <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/1330527/>
- Gallegos-Infante, J., Rocha-Guzman, N., Gonzalez-Laredo, R., Ochoa-Martínez, L., Corzo, N., Bello-Perez, L., Peralta-Alvarez, L. (2010). Quality of spaghetti pasta containing Mexican common bean flour (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food Chemistry*, 119(4), 1544-1549. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.09.040>. Revisar
- Gallegos-Infante, J.-A., Bello-Perez, L. A., Rocha-Guzman, N. E., Gonzalez-Laredo, R. F., & Avila-Ontiveros, M. (2010a). Effect of the addition of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) flour on the *in vitro* digestibility of starch and undigestible carbohydrates in spaghetti. *Journal of Food Science*, 75(5). Revisar
- Ganesan, K., & Xu, B. (2017a). A Critical Review on polyphenols and health benefits of black soybeans. *Nutrients*, 9(455), 1-17. doi: <https://doi.org/10.3390/nu9050455>.

- Ganesan, K., & Xu, B. (2017b). Polyphenol-rich lentils and their health promoting effects. *International Journal of Molecular Sciences*, 18(11), 2390-2395. doi: <https://doi.org/10.3390/ijms18112390>.
- García, L. (2009). Contenido total de taninos condensados en las varieades pinto Zapata, azufrado Higuera, Negro 8025 y bayo Madero de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) cocidas por calentamiento óhmico. *Doctorado Tesis Instituto Politécnico Nacional*, 5
- García, P. P., Bretón, L. I., De la Cueva, C. C., & Camblor, Á. M. (2006). Metabolismo colónico de la fibra. *Nutrición Hospitalaria*, 21(2), 11-16. Obtenido de https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112006000500007
- García-Amezquita, L., Tejada-Ortigoza, V., Torres, J., & Welti-Chanes, J. (2020). Extraction and modification of dietary fiber applying thermal processes. En J. Welti-Chanes, S. Serna-Saldívar, O. Campanella, & V. Tejada-Ortigoza, *Science and Technology of Fibers in Food Systems*. (págs. 329-342). Food Engineering Series. Springer, Cham. doi: https://doi.org/10.1007/978-3-030-38654-2_14
- Giacco, R., Vitale, M., & Riccardi, G. (2016). *Pasta: role in diet. Encyclopedia of food and health*. Amsterdam: The Netherlands.
- Gimeno-Creus, E. (2004). Compuestos fenólicos. Un análisis de sus beneficios para la salud. *Offarm*, 23(6), 80-84. Obtenido de <https://www.elsevier.es/es-revista-offarm-4-articulo-compuestos-fenolicos-un-analisis-sus-13063508>
- Giusti, F., Capuano, E., Sagratini, G., & Pellegrini, N. (2019). A comprehensive investigation of the behaviour of phenolic compounds in legumes during domestic cooking and in vitro digestion. *Food Chemistry*, 285, 458-467. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.148>
- Golay, A., Coulston, A. M., Hollenbeck, C. B., Kaiser, L. L., Wursch, P., & Reaven, G. M. (1986). Comparison of metabolic effects of white beans processed into

- two different physical forms. *Diabetes Care*, 9(3), 260-266. doi: <https://doi.org/10.2337/diacare.9.3.260>
- Goñi, I., Garcia-Alonso, A., & Saura-Calixto, F. (1997). A starch hydrolysis procedure to estimate glycemic index. *Nutrition Research*, 17(3), 427-437. doi: [https://doi.org/10.1016/S0271-5317\(97\)00010-9](https://doi.org/10.1016/S0271-5317(97)00010-9)
- Granito, M., Frias, J., Doblado, R., Guerra, M., Champ, M., & Vidal-Valverde, C. (2001). Nutritional improvement of beans (*Phaseolus vulgaris*) by natural fermentation, *European Food Research and Technology*, 214(), 226-231. Obtenido de <https://doi.org/10.1007/s00217-001-0450-5>.
- Guajardo, F. D., García, P. M., Serna, G. D., Gutiérrez, U. J., & Serna, S. S. (2012). Characterization and quantification of saponins and flavonoids in sprouts, seed coats and cotyledons of germinated black beans. *Food Chemistry*, 134, 1312-1319. doi: <http://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.03.020>
- Guillon, F., & Champ, M. M. (2002). Carbohydrate fractions of legumes: uses in human nutrition and potential for health. *The British Journal of Nutrition*, 88(3), 293-306. doi: <https://doi.org/10.1079/BJN2002720>
- Gutiérrez-Dorado, R., Ayala-Rodríguez, A., Milán-Carrillo, J., López-Cervantes, J., Garzón-Tiznado, J., López-Valenzuela, J., . . . Reyes-Moreno, C. (2008). Technological and nutritional properties of flours and tortillas from nixtamalized and extruded quality protein maize (*Zea mays* L.). *Cereal Chemistry*, 85(6), 808-816. doi: <https://doi.org/10.1094/CCHEM-85-6-0808>
- Gutiérrez-Pulido, H., & De la Vara, S. R. (2004). *Análisis y diseño de experimentos*. México: McGraw-Hill.
- Hadacek, F. (2002). Secondary metabolites as plant traits: Current assessment and future perspectives. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 21(4), 273-322. doi:<https://doi.org/10.1080/0735-260291044269>
- Hangen, L., & Bennink, M. (2002). Consumption of black beans and navy beans (*Phaseolus vulgaris*) Reduced Azoxymethane-Induced Colon Cancer in Rats.

Nutrition and Cancer, 44(1), 60-65. doi:
http://doi.org/10.1207/s15327914nc441_8

Harborne, J. (1989). *Methods in plant biochemistry* (Vol. 1). London: Academic press. No está en texto

Henningsson, A., Nyman, E., & Biorck, I. (2001). Content of short-chain fatty acids in the hindgut of fed processed bean (*Phaseolus vulgaris*) flours varying in distribution and content of indigestible carbohydrates. *British Journal of Nutritional*, 86(3), 379-389.

Hernández, C., & Escudero, A. (1993). Efecto de la cocción sobre algunas características nutricionales del frijol. *Agronomy Mesoamerican*, 42-47. doi:
<http://10.15517/AM.V4I0.25165>

Hernández, P. C., Pérez, C. E., Martínez, M. L., Ortiz, B., & Marínez, G. (2005). Las lectinas vegetales como modelo de estudio de las interacciones proteína carbohidrato. 24(1), 21-27. Obtenido de
[http://www.facmed.unam.mx/publicaciones/ampb/numeros/2005/01/g_21_27_PEDRO_HERNANDEZ\[1\].pdf](http://www.facmed.unam.mx/publicaciones/ampb/numeros/2005/01/g_21_27_PEDRO_HERNANDEZ[1].pdf)

Herrera-Cazares, L. A., Hernández-Navarro, F., Ramírez-Jiménez, A. K., Campos-Vega, R., Reyes-Vega, M. D., Loarca-Piña, G., Morales-Sánchez, E., Wall-Medrano, A., Gaytán-Martínez, M. (2017). Assessment of a functional confectionery added with mango bagasse as vehicle for enhancing bioaccessibility and permeability of phenolic compounds. *Food & Function*, 8(11), 3906-3916. doi: <https://doi.org/10.1039/C7FO00873B>.

Hirawan, R., Ser, W. Y., Arntfield, S., & Beta, T. (2010). Antioxidant properties of commercial, regular and whole-wheat spaghetti. *Food Chemistry*, 119(1), 258-264. doi: <https://10.1016/j.foodchem.2009.06.022>.

Hoover, R., & Zhou, Y. (2003). *In vitro* and *in vivo* hydrolysis of legume starches by α -amylase and resistant starch formation in legumes—a review. *Carbohydr Polym*, 54, 401-417.

- Hsu, H.W., Vavak, D.L., Satterlee, L.D. & Miller, G.A. (1977). A multienzyme technique for estimating protein digestibility. *Journal of Food Science*. 42(5), 1269-1273. Doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1977.tb14476.x>.
- INEGI. (2004). *El sector alimentario en Mexico: nutrición y asistencia*. Obtenido de http://internet.contenidos.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/historicos/2104/702825180799/702825180799_8.pdf
- Ivarsson, A., Persson, L., Juto, P., Peltonen, M., Suhr, O., & Hernell, O. (2001). High prevalence of undiagnosed coeliac disease in adults: a Swedish population-based study. *Journal of Internal Medicine*, 245, 63-68. doi: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2796.1999.00403.x>
- Jenkins, D. J., Wolever, T. M., Wong, G. S., Kenshole, A., Josse, R. G., Thompson, L. U., & Lam, K. Y. (1984). Glycemic responses to foods: possible differences between insulin-dependent and noninsulin-dependent diabetics. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 40(5), 971-981.
- Jenkins, D., Wolever, T., Taylor, R., Barker, H., Fielden, H., Baldwin, J., Goff, D. (1981). Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 34(3), 362-366. doi: <https://doi.org/10.1093/ajcn/34.3.362>
- Júarez-López, B., & Aparicio-Fernández, X. (2012). Polyphenolics concentration and antiradical capacity of common bean varieties (*Phaseolus vulgaris* L.) after Thermal Treatment. *Food Science and Food Biotechnology Essentials: A Contemporary Perspective.*, 1st, 25-33. No está en texto
- Kagnoff, M. (2007). Celiac disease: pathogenesis of a model immunogenetic disease. *The Journal of Clinical Investigation*, 117(1), 41-49.

- Kaya, Y., Piepel, G., & Caniyilmaz, E. (2013). Development of a rubber-based product using a mixture experiment: A Challenging Case Study. *Smithers Rapra Technology*, 123-151.
- Kill, R., & Turnbull, K. (2004). *Tecnología de la elaboración de pasta y sémola (Fernández Álvarez, Trad)*. España: Acribia, S.A.
- Klamczynska, B., Czuchajowska, Z., & Baik, B. (2001). Composition, soaking, cooking properties and thermal characteristics of starch of chickpeas, wrinkled peas and smooth peas. *International Journal of Food Science and Technology*, 36(5), 563-572. doi: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2621.2001.00486.x>
- Kotha, R., Finley, J. W., & Luthria, D. L. (2020). Determination of soluble mono, di, and oligosaccharide content in 23 dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1-28. doi: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.0c00713>
- Kruger, J., Matsuo, R., & Dick, J. (1996). *Pasta and Noodle Technology*. Inc. St Paul, Minnesota, U.S.A.: American Association of Chemists.
- Lajolo, F. M., & Genovese, M. I. (2002). Nutritional significance of lectins and enzyme inhibitors from legumes. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(22), 6592-6598. doi: <https://doi.org/10.1021/jf020191k>
- Lascialfari, M., Magrini, M., & Triboulet, P. (2019). The drivers of product innovations in pulse-based foods: Insights from case studies in France, Italy and USA. *Journal of Innovation Economics*, 28(1), 111. doi: <https://doi.org/10.3917/jie.028.0111>
- Leonard, W., Zhang, P., Ying, D., & Fang, Z. (2019). Application of extrusion technology in plant food processing byproducts: An overview. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 1-30. doi: <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12514>

- Lis, H., & Sharon, N. (1998). Lectins: carbohydrate-specific proteins that mediate cellular recognition. *Chemical Reviews*, 637-674. doi: <https://doi.org/10.1021/cr940413g>
- Luhovyy, B. L., Hamilton, A., Kathirvel, P., & Mustafaalsaafin, H. (2017). The effect of navy bean flour particle size on carbohydrate digestion rate measured *in vitro*. *Cereal Foods World*, 63(5), 208-213. doi: <https://doi.org/10.1094/CFW-62-5-0208>
- Luna-Vital, D. A., Mojica, L., 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 Internacional*, 76, 39-50. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.11.024>
- Luzardo-Ocampo, I., Campos-Vega, R., Cuellar-Nuñez, M., Vásquez-Landaverde, P., Mojica, L., Acosta-Gallegos, J., & Loarca-Piña, G. (2018). Fermented non-digestible fraction from combined nixtamalized corn (*Zea mays* L.)/cooked common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) chips modulate anti-inflammatory markers on RAW 264.7 macrophages. *Food Chemistry*, 259, 7-17. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.096>
- Luzardo-Ocampo, I., Loarca-Piña, G., & González de Mejía, E. (2020). Gallic and butyric acids modulated NLRP3 inflammasome markers in a co-culture model of intestinal inflammation. *Food and Chemical*, 146, 111835. doi: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111835>
- Mákela, O. (1957). Studies on hemmagglutinins of leguminoseae seeds. *Annales Medicinæ Experimentalis et Biologie Fenniae* (Supl 11), 1-156.
- Martínez Lomelí, L. (06 de enero, 2021). *El Economista*. Tendencias en alimentos 2021. Obtenido de <https://www.economista.com.mx/opinion/Tendencias-en-alimentacion-2021-20210106-0092.html>.
- Manzocco, L., Calligaris, S., Mastrocola, D., Nicoli, M., & Lerici, C. R. (2000). Review of non-enzymatic browning and antioxidant capacity in processed foods. *Trends in Food Science and Tecnology*, 11(9-10), 340-394. doi: [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(01\)00014-0](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(01)00014-0)

- Marambe, P., & Wanasundara, J. (2012). *Seed storage proteins as sources of bioactive peptides*. Saskatoon, SK, Canada: Nova Science Publishers, Inc.
- Mariadason, J. M., Catto-Smith, A., & Gibson, P. R. (1999). Modulation of distal colonic epithelial barrier function by dietary fibre in normal rats. *Gut first published*, 44(3), 394-399. doi: <https://doi.org/10.1136/gut.44.3.394>
- Maskus, H., Bourre, L., Fraser, S., Sarkar, A., & Malconson, L. (2016). Effects of grinding method on the compositional, physical, and functional properties of whole and split yellow pea flours. *Cereal Foods World*, 61(2), 59-64. doi: <https://doi.org/10.1094/CFW-61-2-0059>
- McGuire, R. (1992). Reporting of objective color measurements. *Horticultural Science*, 27(12), 1254-1255. doi: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.27.12.1254>
- Meares, C., Bogracheva, T., & Hedley, C. (1997). Chick pea starch: a new material for the food industry. *In Proceedings of the 4th European Conference on Grain Legumes*, 106-107.
- Miranda-Villa, P. P., Marrugo-Ligardo, Y. A., & Montero-Castillo, P. M. (2013). Caracterización Funcional del Almidón de Frijol Zaragoza (*Phaseolus Lunatus* L.) y Cuantificación de su Almidón Resistente. 18-32.
- Mishra, S., Hardacre, A., & Monro, J. (2012). Carbohydrates-comprehensive studies on glycobiology and glycotecnology. En C.-F. Chang, *Carbohydrates* (pág. 572). Taiwan: IntechOpen. doi: <https://doi.org/10.5772/2702>
- Mojica, L., Chen, K., & González, d. M. (1 de 2015). Impact of commercial precooking of common bean (*Phaseolus vulgaris*) on the generation of peptides, after pepsin-pancreatin hydrolysis, capable to inhibit dipeptidyl peptidase-IV. *Journal of Food Science*, 80, 188-198. doi: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12726>
- Moreno, M., & Bouchon, P. (2008). A different perspective to study the effect of freeze, air, and osmotic drying on oil absorption during potato frying. *Journal*

of *Food Science*, 73, 122-8. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2008.00669.x>

Moscicki, L., & Zuilichem, D. (2011). *Extrusion cooking techniques: applications, theory and sustainability*. Weinheim, Germany: Leszek Moscicki.

Mottram, D., Wedzicha, B., & Dodson, A. (2002). Acrylamide is formed in the Maillard reaction. *Nature*, 419(6906), 448-449. doi: <https://doi.org/10.1038/419448a>

Muir, A. (2006). Flax lignans analytical methods and how they influence our understanding of biological activity. *Journal of AOAC International*, 1147-1157. doi: <https://doi.org/10.1093/jaoac/89.4.1147>

Mustalahti, K., Catassi, C., Reunanen, A., Fabiani, E., Heier, M., McMillan, S., . . . & Coeliac EU Cluster, P. E. (2010). The prevalence of celiac disease in Europe: results of a centralized, international mass screening project. *Annals of Medicine*, 42(8), 587-595. doi: <https://doi.org/10.3109/07853890.2010.505931>

Muzquiz, M., Pedrosa, M. M., Varela, A. J., Guillamón, E., Goyoaga, C., Cuadrado, C., & Burbano, C. (2006). Factores no-nutritivos en fuentes Peteicas de origen vegetal. *Brazilian, Journal of Food technology*, 1-10.

Nenadis, N., Wang, L.F, Tsimidou, M., & Zhang, H.Y.(2004). Estimation of scavenging activity of phenolic compounds using the ABTS (*+) assay. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 52(15), 4669-4674. Doi: <https://doi.org/10.1021/jf0400056>

Nishinari, K., Fang, Y., & Rosenthal, A. (2019). Human oral processing and texture profile analysis parameters: Bridging the gap between the sensory evaluation and the instrumental measurements. *Journal of Texture Studies*, 369-380. doi: <https://doi.org/10.1111/jtxs.12404>

- NOM-111-SSA1, N. O. (1994). *Bienes y servicios. Método para la cuenta de mohos y levaduras en alimentos*. Obtenido de <http://extwprlegs1.fao.org/docs/pdf/mex13521.pdf>
- NOM-F-23-S. (1980). *Norma Oficial Mexicana*. México: Diario Oficial.
- Oikonomou, N. A., & Krokida, M. (2012). Water absorption index and water solubility index prediction for extruded food products. *International Journal of Food Properties*, 15(1), 157-168. doi: <http://dx.doi.org/10.1080/10942911003754718>
- Oliviero, T., & Fogliano, V. (2016). Food design strategies to increase vegetable intake: The case of vegetable enriched pasta. *Trends in Food Science and Technology*, 51, 58-64. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.03.008>
- Oomah, B., Kenaschuk, E., & Mazza, G. (1995). Phenolic acids in flaxseed. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43(8), 2016-2019. doi: <https://doi.org/10.1021/jf00056a011>
- Oomah, B.D., Cardador-Martínez, A., & Loarca-Piña, G. (2005). Phenolics and antioxidative activities in common beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 85(6), 935-942. doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.2019>
- Organisation International Pasta. (30 de July de 2022). *International Pasta Organisation*. Recuperado el July de 2022, de <https://internationalpasta.org/>
- Osborne, T. M. (1924). *The vegetable proteins*. Longmans: Green and Company.
- Osorio-Díaz, P., Agama-Acevedo, E., Mendoza-Vinalay, M., & Tovar J, B.-P. L. (2008). Pasta added with chickpea flour: chemical composition, *in vitro* starch digestibility and predicted glycemic index. *Ciencia y Tec Alim*, 6-12.

- Ovando, M. M., Bello, P. L., Whitney, K., Osorio, D. P., & Simsek, S. (2011). Starch characteristics of bean (*Phaseolus vulgaris* L.) grown in different localities. *Carbohydrate Polymers*, 85(1), 54-64. doi: <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.01.043>
- Pal, M., & Kumar, M. N. (2012). Optimum designs for estimation of parameters. *Taylor & Francis*, 665-674.
- Palavencino, P. M., DRibotta, P., León, A. E., & Bustos, M. C. (2018). Gluten-free sorghum pasta: starch digestibility and antioxidant capacity compared with commercial products. *Journal of the science of Food and Agriculture*, 1351-1357. doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.9310>
- Park, C., & Baik, B. (2004). Cooking time of white salted noodles and its relationship with protein and amylose contents of wheat. *Cereal Chemistry*, 81(2), 165-171. doi: <https://doi.org/10.1094/CCHEM.2004.81.2.165>
- Penagini, F., Dilillo, D., Meneghin, F., Mameli, C., Fabiano, V., & Zuccotti, G. (2015). Gluten-free diet in children: an approach to a nutritionaly adequate and balanced diet. *Public Health Nutrition*, 18, 490-499.
- Petitot, M., Abecassis, J., & Micard, V. (2009). Structuring of pasta components during processing: impact on starch and protein digestibility and allergenicity. *Trends in Food Science and Technology*, 20(11-12), 521-532. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2009.06.005>
- Petitot, M., Boyer, L., Minier, C., & Micard, V. (2010). Fortification of pasta with split pea and faba bean flours: pasta processing and quality evaluation. *Food Research International*, 43, 634-641.
- Pitura, K. (2011). Evaluation of the antioxidant activity of extracts and flavonol glycosides isolated from the seed coats of coloured beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Master's Thesis. University of Manitoba; Winnipeg, MB, Candada*. Obtenido de <http://hdl.handle.net/1993/4794>

- Podsedek, A., Sosnowska, D., Redzyna, M., & Koziolkiewicz. (2008). Effect of domestic cooking on the red cabbage hydrophilic antioxidants. *International Journal of Food Science and Technology*, 43(10), 1770-1777. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2007.01697.x>
- Quiceno, J., Ospina, L., David, D., Román, M., Betancur, M., Cadavid, N. C., Passaro. (2017). *Manual para el análisis de biocompuestos de frutas. aplicaciones en el Estado de GULUPA*. (S. N. aprendizaje, Ed.)
- Raigond, P., Ezekiel, R., & Raigond, B. (2015). Resistant starch in food: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95, 1968-1978. doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.6966>.
- Ramírez, J. A., Reynoso, C. R., Mendoza, D. S., & Loarca, P. G. (2014). Functional and technological potential of dehydrated *Phaseolus vulgaris* L. flours. *Food Chemistry*, 254-26. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.04.008>
- Ramírez, J. A., Reynoso, C. R., Tejero, M., León, G. F., & Loarca, P. G. (2015). Potential role of bioactive compounds of *Phaseolus vulgaris* L. on lipid lowering mechanisms. *Food Research International*, 76, 92-104.
- Ramírez-Jiménez, A. K., Luzardo-Ocampo, I., Cuellar-Núñez, M. L., Anaya-Loyola, M. A., León-Galván, M. F., & Loarca-Piña, G. (2022a). Daily intake of a *Phaseolus vulgaris* L. snack bar attenuates hypertriglyceridemia and improves lipid metabolism-associated plasma proteins in mexican women: A Randomized Clinical Trial. *Frontiers in Nutrition*, 9, 890136. doi: <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.890136>
- Ranilla, L. G., Genovese, M. I., & Lajolo, F. M. (2007). Polyphenols and antioxidant capacity of seed coat and cotyledon from Brazilian and Peruvian bean cultivars (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(1), 90-98. doi: <https://doi.org/10.1021/jf062785j>
- Redondo-Villalobos, R., Agama-Acevedo, E., Osorio-Dias, P., Tovar, J., & Bello-Pérez, L. (2009). Proximal composition and in vitro starch digestibility in flaxseed-added corn tortilla. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 89(3), 537-541. doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.3490>

- Rehms, H., & Barz, W. (1995). Degradation of stachyose, raffinose melibiose and sucrose by different tempe-producing *Rhizopus* fungi. *Applied Microbiology Biotechnology*, 44, 47-52.
- Reyes, M. C., & Paredes, L. O. (1993). Hard to cook phenomenon in common beans a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 33(227-286).
- Riaz, M. (2006). Extruded snacks. En Y. H. Hui, *Handbook of Food Science Technology and Engineering* (Vol. 4, págs. 168 1-8). USA.
- Ricci, V., Barone, F., & Petrella, L. (2017). Microbiological quality of industrial and artisanal pasta from Italian market. *Journal of Food Chemistry and Nanotechnology*, 3(2), 44-49. doi: <https://doi.org/10.17756/jfcn.2017-036>
- Riestra, S., Fernández, E., Rodrigo, L., & S. G. (2000). Prevalence of Coeliac disease in the general population of northern Spain. Strategies of serologic screening. *Scandinavian Journal of Gastroenterology*, 35(4), 398-402. doi: <https://doi.org/10.1080/003655200750023967>
- Rivera, J., Pedraza, L., Aburto, T., Batis, C., Sánchez, P. T., González de Cosío, T., & Pedroza-Tobias, A. (2016). Overview of the dietary intakes of the Mexican Population: results from the National Health and Nutrition Survey 2012. *The Journal of Nutrition*, 146 -149.
- Rivera-Torres, P. (2005). Pasta es aalud. *la-moderna*, 1, 1-48. Obtenido de pasta es salud: <http://www.lamoderna.com.mx/images/libros/pastaEsSalud1.pdf>
- Roberfroid, M. (2001). Prebiotics: preferential substrates for specific germs? *The American Journal of Clinical Nutrition*, 73(2 suppl), 406-409. doi: <https://doi.org/10.1093/ajcn/73.2.406s>
- Rocha-Guzmán, N., Gallegos-Infante, J., González-Laredo, R., Caardozza-Cervantes, V., Reynoso-Camacho, R., Ramos-Gomez, M., . . . De Anda-Salazar, A. (2013). Evaluation of culinary quality and antioxidant capacity for

Mexican common beans (*Phaseolus vulgaris* L.) canned in pilot plant. *International Food Research Journal*, 20(3), 1087-1093.

Rostorn, A., Murray, J., & Kagnoff, M. (2006). Institute technical review on the diagnosis and management of celiac disease. *Gastroenterology*. *American Gastroenterological Association (AGA)*, 131, 1981-2002.

Roy, M., Imran, M., Alam, M., & Rahman, M. (June de 2021). Effect of boiling and roasting on physicochemical and antioxidant properties of dark red kidney bean (*Phaseolus vulgaris*). *Food Research*, 5(3), 438-445. doi: [https://doi.org/10.26656/fr.2017.5\(3\).673](https://doi.org/10.26656/fr.2017.5(3).673)

Rubio-Tapia, A., Ludvigsson, J. F., Brantner, T. L., Murray, J. A., & Everhart, J. E. (2012). The prevalence of celiac disease in the United States. *The American Journal of Gastroenterology*, 107(10), 1538-1545. doi: <https://doi.org/10.1038/ajg.2012.219>

Ruiz-Ruiz, J. C., Dávila-Ortíz, G., Chel-Guerrero, L. A., & Betancur-Ancona, D. A. (2012). Wet fractionation of hard-to-cook bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seeds and characterization of protein, starch and fiber fractions. *Food Bioprocess and Technology*, 5(5), 1531-1540.

Rybiński, W., Karamać, M., Sulewska, K., Börner, A., & Amarowicz, R. (2018). Antioxidant potential of grass pea seeds from European countries. *Foods*, 7(9), 142. doi: <https://doi.org/10.3390/foods7090142>

Rydberg, P., Eriksson, S., Tareke, E., Karlsson, P., Ehrenberg, L., & Törnqvist, M. (2003). Investigations of factors that influence the acrylamide content of heated foodstuffs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(24), 7012-7018. doi: <https://doi.org/10.1021/jf034649>+

Sáenz de Miera, L., Ramos, J., & Pérez De la Vega, M. (2008). A comparative study of convicilin storage protein gene sequences in species of the tribe Viciaeae. *Genome*, 51(7), 511-523. doi: <https://doi.org/10.1139/G08-036>

- SAGARPA. (2017). *Planeación Agrícola Nacional 2017-2030*. Planeación, SAGARPA, Subsecretaría de Agricultura, México. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/256428/B_sico-Frijol.pdf
- Saltos, H. A. (2010). Aplicacion de un diseño experimental de mezclas en el desarrollo de una "Barra energetica" con base en el salvado de palmito de Pejibaye. *Revista Tecnologica ESPOL*, 1-8.
- Sánchez, Q. V. (2018). Enriquecimiento con aislado proteico y hierro biodisponible de una bebida a base de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) extruido variedad Bayo Madero. *Tesis de maestría en ciencia y tecnología de alimentos*.
- Sánchez-Mata, M. C., Peñuela-Teruel, M. J., Cámara-Hurtado, M., Díez-Marqués, C., & Torija-Isasa, M. E. (1998). Determination of mono-, di-, and oligosaccharides in legumes by high-performance liquid chromatography using an amino-bonded silica column. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 46(9), 3648-3652. doi: <https://doi.org/10.1021/jf980127w>
- Sapone, A., Bai, J., Ciacci, C., Dolinsek, J., Green, P., & Hadjivassiliou, M. (2012). Spectrum of gluten -related disorders: consensus on new nomenclature and classification. *BMC Medicine*, 10:13.
- Saura-Calixto, F., Goñi, I., Bravo, L., & Mañas, E. (1993). Resistant starch in foods: Modified method for dietary fiber residues. *Journal of Food Science*, 58(3), 642-643. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1993.tb04346.x>
- Seena, S., & Sridhar, K. (2005). Physicochemical, functional and cooking properties of under explored legumes, Canavalia of the southwest coast of India. *Food Reserch International.*, 38(7), 803-814. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2005.02.007>
- Seena, S., Sridhar, K., A.B., A., & Young, C. (2006). Effect of roasting and pressure-cooking on nutritional and protein quality of seeds of mangrove legume

canavalia cathartica from southwest coast of India. *Journal of Food Composi*, 19(4), 284-293. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2005.05.004>

Sengupta, S., Muir, J., & Gibson, P. (2006). Review does butyre protect from colorectal cancer. *Journal Gastroenterology and Hepatology*, 21, 209-218. No está en texto

Serna, S. S. (2013). *Química, almacenamiento e industrialización de los cereales* (Vol. 2ª edición). D.F. México: Editorial EGT, S.A.

Serrano, J., & Goñi, I. (2004). Papel del frijol Negro *Phaseolus vulgaris* en el estado nutricional de la población guatemalteca. *Archivo Latinoamerica de Nutrición*, 54, 36-44.

Shahidi, F., & Naczk, M. (2004). *Phenolics in food and nutraceuticals*. USA, Florida: CRC press.

Shibukawa, S., Sugiyama, K., & Yano, T. (1989). Effects of heat transfer by radiation and convection on browning of cookies at baking. *Journal of Food Science*, 54(3), 621-624. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1989.tb04666.x>

Shuler, P. (1990). Natural antioxidants exploited commercially. In food antioxidants. En B. Hudson, *Food Antioxidants* (págs. 99-170). London: Elsevier Applied Science.

SIAP. (2021a). *Márgen de comercialización de frijol Peruano*. México: Secretaría de información agroalimentaria y pesca. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/625752/Frijol_peruano_feb_2021.pdf

SIAP. (2021b). *Margen de comercialización frijol Negro*. México: Secretaría de información agroalimentaria y pesca. Obtenido de https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/625748/Frijol_negro_feb_2021.pdf

SIAP. (2021c). *Seguimiento diario de los precios del sector primario*. Secretaría de información Agroalimentaria y Pesca, México. Obtenido de

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/629380/precios_14_de_abril_2021.pdf

- Siddhuraju, P., & Becker, K. (2001). Effect of various indigenous processing methods on the R-galactoside and mono- and disaccharide content of an Indian tribal pulse, *Mucuna pruriens* Var utilis. *Journal Science of Food Agriculture*, 81, 718-725.
- Siddiq, M., Kelkar, S., Harte, J., Dolan, K., & Nyombaire, G. (2013). Functional properties of flour from low-temperature extruded navy and pinto beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *IWT-Food Science and Technology*, 50(1), 215-219. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.05.024>
- Silván, J., van de Lagemaat, J., Olano, A., & Del Castillo, M. (2006). Analysis and biological properties of amino acid derivatives formed by Maillard reaction in foods. *Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis*, 41(5), 1543-1551. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2006.04.004>
- Silveira-Rodríguez, M., Monereo, M., & Molina, B. (2003). Alimentos funcionales y nutrición óptima: ¿ Cerca o lejos? *Revista Española de Salud Pública*, 317-331. No está en texto
- Singh, A., Raigond, P., Lal, M., Singh, B., Thakur, N., Changan, S., Dutt, S. (2020). Effect of cooking methods on glycemic index and in vitro bioaccessibility of potato (*Solanum tuberosum* L.) carbohydrates. *Food Science and Technology*, 127, 109363. doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109363>
- Singh, B., Singh, J. P., Kaur, A., & Singh, N. (2017a). Legumes are a good source of bioactive phenolic compounds which play significant roles in many physio Phenolic acids, flavonoids and condensed tannins are the primary phenolic compounds that are present in legume seeds: a review. *Food Research International*, 101, 1-16. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.026>.

- Singh, B., Singh, J. P., Kaur, A., & Singh, N. (2017b). Phenolic composition and antioxidant potential of grain legume seeds: A review. *Food Research International*, 101, 1-16. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.09.026>.
- Singh, B., Singh, J. P., Shevkani, K., Singh, N., & Kaur, A. (2017c). Bioactive constituents in pulses and their health benefits. *Journal Food Science and Technology*, 858-870. doi: <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2391-9>.
- Singh, P., Arora, S., Singh, A., Strand, T. A., & Makharia, G. K. (2016). Prevalence of celiac disease in Asia: A systematic review and meta-analysis. *Journal of gastroenterology and hepatology*, 31, 1095-1101. doi: <https://doi.org/10.1111/jgh.13270>.
- Singh, S., Gamlath, S., & Wakeling, L. (2007). Nutritional aspects of food extrusion: a review. *International Journal of Food Science and Technology*, 42(8), 916-929. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01309.x>
- Shiga, K., Hara, H., Okano, G. & Aoyama, Y. (2003). Ingestion of water-soluble soybean fiber prevents gastrectomy-induced iron malabsorption, anemia and impairment of voluntary running exercise performance in rats. *The Journal of Nutrition*. 133(4), 1120-1126. doi: <https://doi.org/10.1093/jn/133.4.1120>
- Simpson, H.L., & Campbell, B.J. (2015). Review article: dietary fibre-microbiota interactions. *Alimentary Pharmacology & Therapeutics*, 42(2), 158-179. doi: <https://doi.org/10.1111/apt.13248>.
- Singleton, V.L., & Rossi, J.A., (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*. 16, 144-158.

- Sissons, M. (2016). Pasta. En C. W. Wrigley, H. Corke, K. Seetharaman, & J. Faubion, *Encyclopedia of Food Grains* (págs. 79-89).
- Socorro, M., A., L.-B., & J., T. (1989). *In vitro* digestibility of cereal and legume (*Phaseolus vulgaris*) starches by bovine, porcine and human pancreatic α -amylases. Effect of dietary fiber. *Starch Stärke*, 41, 69-71.
- Song, D., & Chang, S. K. (2006). Enzymatic degradation of oligosaccharides in pinto bean flour. *Journal Agricultural Food Chemistry*, 54, 1296-1301.
- Stadler, R., Black, I., Varga, N., Robert, F., Hau, J., Guy, P., Riediker, S. (2002). Acrylamide from Maillard reaction products. *Nature*, 419, 449-450. doi: <https://doi.org/10.1038/419449a>
- Sussanna, S., & Prabhasankar, P. (2013). A study on development of gluten free pasta and its biochemical and immunological validation. *LWT-Food Sciences Technology*, 50: 613-621. doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.07.040>
- Tareke, E., Rydberg, P., Karlsson, P., Eriksson, S., & Törnqvist, M. (2002). Analysis of acrylamide, a carcinogen formed in heated foodstuffs. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(17), 4998-5006. doi: <https://doi.org/10.1021/jf020302f>
- Thanatuksorn, P., Kajiwara, K., & Suzuki, T. (2010). Characteristics and oil absorption in deep-fat fried batter prepared from ball-milled wheat flour. *Journal of The Science*, 90(1), 13-20. doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.3766>
- Tharanathan, R., & Mahadevamma, S. (2003). Grain legumes a boom to human nutrition. *Trends Food Sciences Technology*, 14(12), 507-518. doi: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2003.07.002>.
- Torres, A., Frías, J., Granito, M., & Vidal-Valverde, C. (2007). Germinated cajanus cajan seeds as ingredients in pasta products: Chemical, biological and sensory evaluation. *Food Chemistry*, 101(1), 202-211. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.01.018>

- Tovar, J., Björck, I., & Asp, N. (1990). Starch content and α -amylolysis rate in precooked legume flours. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 38(9), 1818-1823. doi: <https://doi.org/10.1021/jf00099a007>
- Tovar, J., Björck, I., & Asp, N. (1992). Incomplete digestion of legume starches in rats: A study of precooked flours containing retrograded and physically inaccessible starch fractions. *Journal of Nutrition*, 122, 1500-1507. doi: <https://doi.org/10.1093/jn/122.7.1500>
- Treviño-Mejía, D. (2013). Desarrollo y evaluación nutrimental y nutracéutica de tortillas a base de maíz nixtamalizado y frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) . *Tesis de maestría. Programa de posgrado del centro de la república, PROPAC*. México: Universidad Autónoma de Querétaro.
- Trindade, M., Abratt, V., & Reid, S. (2003). Induction of sucrose utilization gener from *Bifidobacterium lactis* by sucrose and raffinosa. *Applied and Environmental Microbiology*, 24-32.
- Tudorica, C. M., Kuri, V., & Brennan, C. S. (2002). Nutritional and physicochemical characteristics of dietary fiber enriched pasta. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(2), 347-356.
- Ulloa, J., Ramírez, R., & Ulloa, R. (2011). El frijol (*Phaseolus vulgaris*) su importancia nutricional y como fuente de fitoquímicos. *Revista Fuerte*, 3(8), 5-9.
- Valenzuela, B. A., & Maiz, G. (2006). El rol de la fibra dietética en la nutrición enteral. *Revista Chilena de Nutrición*, 33(2), 342-351. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182006000400002>
- Vázquez, M. L. (2021). *Revista de Dibulgación científico tecnológica del Gobierno del Estado de Morelos*. Obtenido de HYPATIA: <https://revistahypatia.org/leguminosas.html>

- Vega-Rojas, L. J., Luzardo-Ocampo, I., Mosqueda, J., Palmerín-Carreño, D. M., Escobedo-Reyes, A., Blanco-Labra, A., García-Gasca, T. (2021). Bioaccessibility and *In vitro* intestinal permeability of a recombinant lectin from tepary bean (*Phaseolus acutifolius*) using the everted intestine assay. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(3), 1049. doi: <https://doi.org/10.3390/ijms22031049>
- Vidal, B. A., Lagunes, E. C., Valdez, E., & Ortiz, G. C. (2006). Variabilidad morfológica y molecular de cultivares criollos y mejorados de frijol común en Tabasco. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 29, 273- 281.
- Volta, U., Bellentani, S., Bianchi, F., Brandi, G., De Franceschi, L., Miglioli, L., . . . Tiribelli, C. (2001). High prevalence of celiac disease in Italian general population. *Digestive Diseases and Sciences*, 46(7), 1500-1505. doi: <https://doi.org/10.1023/a:1010648122797>
- Volta, U., Caio, G., Tovoli, F., & De Giorgio, R. (2013). Non-celiacglutensensitivity:questionsstilltoanswerdespite increasing awareness. *Cellular & Molecular Immunology*, 10, 383-392. doi: <https://doi.org/10.1038 / cmi.2013.28>
- Wiesinger, J. A., Cichy, K. A., Hooper, S. D., Hart, J. J., & Glahn, R. P. (2020). Processing white or yellow dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.) into a heat treated flour enhances the iron bioavailability of bean-based pastas. *Journal of Functional Foods*, 71, 104018. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.104018>
- Willett, W., Manson, J., & Liu, S. (2002). Glycemic index, glycemic load, and risk of type 2 diabetes. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 76(1), 274s-280s. doi: <https://doi.org/10.1093/ajcn/76/1.274S>
- Wrolstad, R. E., & Smith, D. E. (2017). Color analysis. In *Food analysis* (pp. 545-555). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45776-5_31
- Yaylayan, V., Wnorowski, A., & Perez, L. C. (2003). Why asparagine needs carbohydrates to generate acrylamide. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(6), 1753-1757. doi: <https://doi.org/10.1021/jf0261506>

- Yen, G., & Hsieh, P. (1995). Antioxidative activity and scavenging effects on active oxygen of xylose-lysine Maillard reaction products. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 67(3), 415-420. doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.2740670320>.
- Younes, H., Coudray, C., Bellanger, J., Demigne, C., Rayssiguier, Y., & Remesy, C. (2001). Effects of two fermentable carbohydrates (inulin and resistant starch) and their combination on calcium and magnesium balance in rats. *British Journal of Nutrition*, 86, 479–485.
- Zhao, Y., Manthey, F., Chang, K. H., & Yuan, S. (2005). Quality characteristics of spaghetti as affected by green and yellow pea, lentil and chickpea flours. *Journal of Food Science*, 70, 371-376.
- Zielinski, H., Michalska, A., Amigo-Benavent, M., del Castillo, M., & Puskula, M. (2009). Changes in protein quality and antioxidant properties of buckwheat seeds and groats induced by roasting. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(11), 1447-4776. doi: <https://doi.org/10.1021/jf900313e>
- Zucco, F., Borsuk, Y., & Arntfield, S. (2011). Physical and nutritional evaluation of wheat cookies supplemented with pulse flours of different particle sizes. *LWT - Food Science and Technology*, 44(10), 2070-2076. doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.06.007>

X. ANEXOS

Anexo 1. Boleta para análisis sensorial discriminativa pareada.

Prueba sensorial discriminativa pareada

Edad _____ Sexo () F () M Fecha _____

¿Consume habitualmente pasta? Si ___ No ___

¿Consume frijol habitualmente? Si ___ No ___

Indicaciones: Frente a usted hay dos muestras de **ravioles a base de frijol común**, tome su tiempo y pruebe las muestras en el orden indicado. Señala con una **X** la muestra de su preferencia.

Muestra: 154 _____ 258 _____

Comentarios _____

Anexo 2. Boleta para análisis sensorial.

Prueba sensorial de escala hedónica de 9 puntos

Producto: Ravioles a base de frijol común de dos variedades (Peruano y Negro)

Edad: _____

Fecha: _____

Pruebe por favor las muestras e indique su nivel de agrado, marcando con una X la opción que más se acerque a su opinión. Solo debe marcar una opción.

Características	Color	Aroma	Sabor	Apariencia	Textura	Apariencia en general
Me gusta extremadamente						
Me gusta mucho						
Me gusta moderadamente						
Me gusta un poco						
Ni me gusta ni me disgusta						
Me disgusta ligeramente						
Me disgusta moderadamente						
Me disgusta mucho						
Me disgusta extremadamente						

¡Gracias por participar!

Anexo 3. Consentimiento informado.

CONSENTIMIENTO INFORMADO
COMITÉ DE BIOÉTICA DE LA FACULTAD DE QUÍMICA
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO

Título del proyecto: “Caracterización química y nutraceútica de raviolos elaborados a base de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.)”

Investigador principal: Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña

Investigador asistente: I.B.I. Dora Eyra Galván Mondragón

Usted ha sido invitado a participar de manera voluntaria a una evaluación sensorial como panelista no entrenado, para probar un producto que consiste en raviolos a base de frijol común de dos variedades (Peruano y Negro) . La muestra que usted probará contiene los siguientes ingredientes:, harina de frijol, mucilago de semilla de chía, agua, aceite de oliva, almidón de papa, lecitina y sal. Si usted es alérgico o duda de si algún ingrediente puede causarle alguna reacción, favor de notificarlo, ya que puede comprometer su salud.

La prueba se llevará a cabo en la sala de evaluación sensorial del Centro Académico de Innovación y Desarrollo de Productos (CAIDEP) ubicado en el Parque Biotecnológico 2^{do} Piso, Centro Universitario, en la Universidad Autónoma de Querétaro.

Si usted decide participar en el estudio, es importante que considere la siguiente información. Sientase libre de preguntar culaquier asunto que no le quede claro.

Objetivo del estudio

El objetivo del presente estudio es formular y caracterizar química y nutracéuticamente raviolos elaborados a base de frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.).

Para conocer si el producto elaborado es del agrado de los panelistas, poniendo a prueba la aceptabilidad del producto.

Justificación del estudio

Se quiere formular raviolos de dos variedades de frijoles (Peruano y Negro) que posea propiedades nutricionales, así como propiedades sensoriales que se asemejen a los raviolos comerciales libres de gluten, ofreciendo una alternativa de alimento en el mercado, para personas que padecen de enfermedad celiaca, intolerancia al gluten y veganos, así como a la población en general, impactando de manera positiva a su salud.

Selección de participantes

A este estudio serán invitadas a participar personas sanas no entrenadas y consumidores habituales, sin exclusión de género, en un rango de 18-50 años y con aptitud para comunicarse y describir sensaciones percibidas.

La invitación al estudio será por medio de pósteres distribuidos dentro de la Universidad Autónoma de Querétaro, mencionando claramente las medidas de seguridad a seguir, apegadas a la disposición oficial sanitaria, dispuestas por la Secretaría de salud.

Criterios de exclusión

Personas que presenten reacciones alérgicas a alguno de los ingredientes antes descritos o que presenten algún padecimiento que les impida su apreciación sensorial.

Procedimiento

Si se desea participar en este estudio, se debe presentar en el laboratorio de análisis sensorial del Centro Académico de Innovación y Desarrollo de Productos (CAIDEP), ubicado en el segundo piso del Parque Biotecnológico de la UAQ, en horarios y fechas indicadas para el estudio. Con la portación de cubrebocas, utilización de gel antibacterial y toma de temperatura y se registrara.

En caso de que se acepte participar en el estudio se procederá a realizar los siguientes pasos:

- Se deberá de leer el consentimiento informado al panelista que se le entregará la muestra del alimento a probar.
- Se deberá llenar los datos correspondientes en el documento entregado tales como; fecha, nombre del participante y firma del consentimiento informado.
- Se deberá llenar una boleta en donde se encontrará una escala hedónica donde serán evaluados los diferentes atributos del pan, una vez que haya sido probado el producto.

Beneficios

No hay un beneficio directo ni económico por su participación en el estudio, sin embargo, si usted acepta participar, está colaborando con la Universidad Autónoma de Querétaro para encontrar un alimento funcional y poder ser llevado como un producto alimenticio al mercado, de esta manera ayudar a grupos de población que presenta una enfermedad llamada “enfermedad celiaca”, intolerancia al gluten y veganos, además de beneficiar a la población en general.

Confidencialidad

Toda la información que usted nos proporcione para el estudio sera de carácter estrictamente confidencial, sera utilizada unicamente por el equipo de investigación del proyecto y no estara disponible para ningun proposito. Usted quedará

identificado con un número y no con su nombre. Los resultados de este estudio serán publicados con fines científicos.

Participación voluntaria

Su participación en este estudio es absolutamente voluntaria. Usted esta en la libertad de negarse a participar o de retirar su participación del mismo en cualquier momento.

Riesgos potenciales

La participación en este estudio no implica riesgos en su salud, ya que los ingredientes empleados se clasifican como GRAS (generally recognized as safe) por la FDA, además de que es un producto inocuo. El aditivo utilizado está evaluado por el comité Mixto de FAO/OMS de expertos en aditivos alimentarios (JECFA, por sus siglas en inglés). Del mismo modo, todos los ingredientes utilizados no están clasificados en el Codex Alimentarius como alimentos implicados en reacciones alérgicas. Asimismo, se ha reportado que el remojo y los tratamientos térmicos aplicados al frijol, disminuyen sus compuestos antinutricios, haciendo un alimento seguro para su consumo.

Es importante resaltar que la presente propuesta es revisada y aprobada por el comité de bioética de la Facultad de Química de la Universidad Autónoma de Querétaro.

Contacto

Si usted tiene alguna pregunta, comentario o preocupación, con respecto al proyecto, por favor comuníquese con I.B.I. Dora Eyra Galván Mondragón al siguiente número de teléfono 55 70 59 53 70 o al correo eyragalvan12@gmail.com.

Se me ha leído esta carta de consentimiento y me han explicado el estudio de investigación el cual consiste en formular y caracterizar química y nutracéutica,

ravioles a base de frijol común de las variedades Peruano y Negro. Así mismo, se me dieron a conocer los objetivos, los posibles riesgos y beneficios, y otros aspectos sobre mi participación en el estudio. Se me ha dado la oportunidad de realizar preguntas relacionadas a mi participación en el estudio, y me han respondido satisfactoriamente a mis dudas. Acepto que no habrá una remuneración de ningún tipo por mi participación y consiento voluntariamente a participar en esta investigación como un panelista no entrenado para una evaluación sensorial y entiendo que tengo derecho de retirarme de la investigación en cualquier momento.

A continuación registre su nombre y firma en este documento del cual se le entregara una copia.

Participante

Nombre: _____

Firma: _____

Fecha: _____

He sido testigo de la lectura exacta del documento de consentimiento informado por parte del potencial participante y éste ha tenido la oportunidad de hacer preguntas, por lo cual confirmo que el individuo ha dado su consentimiento libremente.

Nombre del investigador principal: Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña.

Nombre del investigador asistente: I.B.I. Dora Eyra Galván Mondragón

Firma del investigador asistente: _____

Fecha: _____

CARTA DE REVOCACIÓN DEL CONSENTIMIENTO

Título del protocolo:

Investigador principal:

Sede donde se realizará el estudio:

Nombre del participante: _____

Por este conducto deseo informar mi decisión de retirarme de este estudio de investigación por las siguientes razones: (Opcional)
