

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

**“Evaluación de compuestos antinutricios, propiedades
tecno-funcionales y digestión *in vitro* de harinas de
leguminosas extrudidas”**

Tesis de Maestría

**Que como parte de los requisitos para obtener el grado de
Maestro en Ciencia y Tecnología de Alimentos**

Presenta

IBQ. Diana Karen Montoya Ramos

Dirigido por

Dra. Marcela Gaytán Martínez

Centro Universitario. Querétaro, Querétaro. Noviembre de 2023.



Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales
de Información



Evaluación de compuestos antinutricios, propiedades
tecno-funcionales y digestión in vitro de harinas de
leguminosas extrudidas

por

Diana Karen Montoya Ramos

se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0
Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

Clave RI: FQMAC-309115



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

**“Evaluación de compuestos antinutricios, propiedades tecno-
funcionales y digestión *in vitro* de harinas de leguminosas extrudidas”**

Tesis de Maestría

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

Presenta:

IBQ. Diana Karen Montoya Ramos

Dirigido por:

Dra. Marcela Gaytán Martínez

Dra. Marcela Gaytán Martínez
Presidente

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca
Secretario

Dra. Rosalía Reynoso Camacho
Vocal

Dr. Ángel H. Cabrera Ramírez
Suplente

Dr. Eduardo Morales Sánchez
Suplente

Centro Universitario. Querétaro, Querétaro. Noviembre de 2023.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCyT) por la beca otorgada para la realización de esta investigación de maestría.

A la Universidad Autónoma de Querétaro por admitirme como alumna y brindarme las herramientas para estudiar la maestría.

A la Dra. Marcela Gaytán, directora de este proyecto, por aceptarme como su alumna, por su apoyo y dedicación, por permitirme crecer profesional y personalmente.

A la Dra. Rosalía Reynoso Camacho y a la Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca, por la disposición al uso de equipos y espacio de trabajo, además de las aportaciones a esta investigación.

Al Centro de Investigación en Ciencias Aplicadas y Tecnología Avanzada (CICATA) Querétaro, especialmente al Dr. Eduardo Morales Sánchez y al Dr. Ángel H. Cabrera Ramírez por ser siempre accesibles a los equipos de trabajo y por sus valiosas aportaciones al proyecto.

Al Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ) y al Dr. Luis Mojica, por permitirme realizar una pequeña estancia de investigación.

Al grupo de trabajo México-Quebec (GTMQ) de la XVIII Convocatoria 2021-2023, por el financiamiento del proyecto “Desarrollo de una extrusora de bajo costo para las comunidades rurales”.

A mis compañeros y amigos de maestría, a los chicos de servicio y verano, pero en especial a Sofía Romero Ortiz, Fernanda Dorantes, Kristell Rivera, Raquel Ramírez, Italia Lima, Vanessa Sánchez, Hiram López, gracias infinitas.

DEDICATORIA

A mi hermana, mi mejor amiga y motivo de seguir.

A mis padres, mi mayor motivación, espero hacerlos sentir orgullosos.

A mis abuelos, que los amo con todo mi corazón.

A mis amigos, a los de toda la vida y a los que se integraron, sin ustedes no hubiera sido posible concluir este viaje.

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 reporto detalles necesarios para que los resultados de esta tesis sean reproducibles en eventuales investigaciones futuras. Finalmente, este manuscrito de tesis es un trabajo original en el cual se declaró y dio reconocimiento a cualquier colaboración o cita textual presentadas en el documento.



Diana Karen Montoya Ramos

RESUMEN

La desnutrición afecta principalmente a niños de Latino América, que presenta cifras alarmantes de este padecimiento. Para coadyuvar con esta situación de salud, se propone utilizar fuentes vegetales de proteínas de calidad como las leguminosas, para la elaboración de harinas que podrían emplearse como ingredientes potenciales en la elaboración de productos nutritivos. Sin embargo, el problema de las leguminosas es su contenido de factores antinutricios los cuales pueden eliminarse utilizando altas temperaturas, no obstante, esto produce modificaciones de las propiedades tecno-funcionales de las harinas, limitando sus aplicaciones. El objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de la temperatura de extrusión sobre el contenido de compuestos antinutricios, las propiedades tecno-funcionales y digestibilidad *in vitro* de carbohidratos y proteínas de harina de leguminosas como frijol negro, garbanzo y soya. Se evaluó el efecto de la temperatura de extrusión (140, 160 y 180 °C) a una alta humedad (50%) para las tres leguminosas, incluyendo controles de proceso de cocción tradicional (temperatura de ebullición, 70-90 min). Respecto a las propiedades tecno-funcionales, la extrusión comparada con el proceso de cocción tradicional mejoró la estabilidad espumante en función del pH (frijol pH 3 y garbanzo pH 9). Mientras que la capacidad de gelificación se presentó solamente para frijol y garbanzo de 12 - 14% y del 8 -14%, respectivamente. El índice de solubilidad de agua se incrementó desde un 53 al 102% para las tres leguminosas, siendo mayor el efecto para la harina de garbanzo. Para el caso de la viscosidad esta variable se incrementó para las harinas de frijol y garbanzo. En relación con los compuestos antinutricios, el contenido de lectinas e inhibidores de tripsina fueron similares al proceso de cocción tradicional cuando la extrusión se realizó a 180 °C. Finalmente, la digestibilidad de proteínas fue similar para ambos procesos de cocción. El proceso de extrusión 160 - 180 °C y alta humedad (50%), mejora las propiedades tecno-funcionales y disminuye los compuestos antinutricios principalmente de las harinas de frijol y garbanzo, por lo tanto, estas podrían utilizarse como potenciales ingredientes para la elaboración de alimentos nutritivos.

Palabras claves: extrusión, leguminosas, antinutricios, tecno-funcionalidad, digestibilidad.

ABSTRACT

Malnutrition affects children in Latin America, which has alarming numbers of this condition. To help with this health situation, it is proposed to use vegetable sources of quality proteins such as legumes, to produce flours that could be used as potential ingredients in the production of nutritious products. However, the problem with legumes is their content of anti-nutritional factors which can be eliminated using elevated temperatures; however, this produces modifications in the techno-functional properties of the flours, limiting their applications. The objective of this work was to evaluate the effect of extrusion temperature on the content of anti-nutritional compounds, the techno-functional properties and in vitro digestibility of carbohydrates and proteins from legume flour such as black beans, chickpeas, and soybeans. The effect of extrusion temperature (140, 160 and 180 °C) at high humidity (50%) was evaluated for the three legumes, including traditional cooking process controls (boiling temperature, 70-90 min). Regarding the techno-functional properties, extrusion compared to the traditional cooking process improved foaming stability as a function of pH (bean pH 3 and chickpea pH 9). While the gelation capacity was only 12 - 14% and 8 -14% for beans and chickpeas, respectively. The water solubility index increased from 53 to 102% for the three legumes, with the effect being greater for chickpea flour. In the case of viscosity, this variable increased for bean and chickpea flours. In relation to anti-nutritional compounds, the content of lectins and trypsin inhibitors were like the traditional cooking process when extrusion was conducted at 180 °C. Finally, protein digestibility was similar for both cooking processes. The extrusion process at 160 - 180 °C and high humidity (50%) improves the techno-functional properties and reduces anti-nutritional compounds in bean and chickpea flours, therefore, these could be used as potential ingredients to produce nutritious foods.

Key words: extrusion, legumes, antinutritional, techno-functionality, digestibility.

ÍNDICE

ÍNDICE DE CUADROS.....	VI
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	3
2.1 Desnutrición en América Latina en niños e influencia de la proteína	3
2.2 Leguminosas.....	4
2.3 Consumo de leguminosas.....	5
2.4 Compuestos antinutricios de las leguminosas	6
2.4.1 Compuestos antinutricios no proteicos.....	7
2.4.2 Compuestos antinutricios proteicos.....	8
2.5 Valor comercial	10
2.6 Frijol común.....	11
2.6.1 El frijol en América Latina.....	11
2.6.2 Composición química del frijol.....	12
2.7 Garbanzo	14
2.7.1 El garbanzo en América Latina	15
2.7.2 Composición química del garbanzo	15
2.8 Soya.....	17
2.8.1 La soya en América Latina.....	17
2.8.2 Composición química de la soya.....	18
2.9 Harinas de leguminosas.....	20
2.10 Propiedades tecno-funcionales de las harinas.....	21
2.11 Extrusión	23
2.11.1 Ventajas de procesamiento.....	24
2.11.2 Efecto de la extrusión sobre los nutrientes.....	25
2.11.3 Efecto de la extrusión sobre las propiedades tecno-funcionales.....	26
2.11.4 Efecto de la extrusión sobre los compuestos antinutricios	27
3. OBJETIVOS.....	28

3.1	General	28
3.2	Específicos	28
4.	MATERIALES Y MÉTODOS	29
4.1	Materia prima	29
4.2	Obtención de harinas de leguminosas por el método tradicional.....	29
4.2.1	Harina de frijol	29
4.2.2	Harina de garbanzo	29
4.2.3	Harina de soya	29
4.3	Obtención de harinas de leguminosas por el método de extrusión	30
4.3.1	Obtención de harina extrudida	30
4.4	Análisis proximal	30
4.4.1	Humedad.....	31
4.4.2	Grasa	31
4.4.3	Proteína.....	31
4.4.4	Cenizas	32
4.4.5	Fibra dietética total	32
4.5	Evaluación de propiedades tecno-funcionales.....	32
4.5.1	Densidad aparente	32
4.5.2	Índice de solubilidad y absorción de agua.....	32
4.5.3	Capacidad de absorción de aceite	33
4.5.4	Viscosidad.....	33
4.5.5	Capacidad emulsificante	33
4.5.6	Capacidad espumante y estabilidad de la espuma	34
4.5.7	Capacidad de gelificación	34
4.6	Cuantificación de factores antinutricios.....	34
4.6.1	Cuantificación de lectinas.....	34
4.6.2	Cuantificación de inhibidores de tripsina	35
4.6.3	Cuantificación de ácido fítico.....	36
4.6.4	Cuantificación de taninos condensados	37
4.7	Digestibilidad <i>in vitro</i> de proteínas	38

4.8	Análisis estadístico	38
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	39
5.1	Composición química de las harinas	39
5.2	Caracterización tecno-funcional de las harinas de leguminosas procesadas por extrusión y el método tradicional	42
5.2.1	Densidad aparente	42
5.2.2	Capacidad de absorción de aceite	44
5.2.3	Capacidad espumante y estabilidad de la espuma	47
5.2.4	Capacidad de gelificación	55
5.2.5	Índice de absorción de agua	57
5.2.6	Índice de solubilidad en agua de harinas	59
5.2.7	Capacidad emulsificante	62
5.2.8	Viscosidad	64
5.3	Cuantificación de factores antinutricios.....	66
5.3.1	Cuantificación de lectinas.....	66
5.3.2	Cuantificación de inhibidores de tripsina	67
5.3.3	Cuantificación de ácido fítico.....	69
5.3.4	Cuantificación de taninos condensados	70
5.4	Digestibilidad <i>in vitro</i> de proteínas	72
6.	CONCLUSIONES	75
7.	REFERENCIAS.....	76
8.	ANEXOS	99

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Composición química de algunas leguminosas en base secas	5
Cuadro 2. Composición química del frijol común	12
Cuadro 3. Compuestos antinutricios en el frijol común	14
Cuadro 4. Composición química del garbanzo	16
Cuadro 5. Compuestos antinutricios del garbanzo	17
Cuadro 6. Composición química de la soya.....	19
Cuadro 7. Composición proximal de las harinas.....	40
Cuadro 8. Contenido de fibra dietaría de las harinas.....	42
Cuadro 9. Capacidad de gelificación de las harinas de leguminosas obtenidas por los diferentes tratamientos.....	56
Cuadro 10. Índice de absorción de agua de las harinas de leguminosas obtenidas por los diferentes tratamientos.....	59
Cuadro 11. Índice de solubilidad de las harinas de leguminosas obtenidas por los diferentes tratamientos	61
Cuadro 12. Capacidad emulsificante de las harinas de leguminosas obtenidas por los diferentes tratamientos.....	63
Cuadro 13. Contenido de lectinas.....	67
Cuadro 14. Contenido de inhibidores de tripsina	68
Cuadro 15. Contenido de ácido fítico.....	70
Cuadro 16. Contenido de taninos condensados	71
Cuadro 17. Digestibilidad <i>in vitro</i> de proteínas.....	72

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Variedades en colores y formas de la semilla de frijol	11
Figura 2. Estructura del grano de garbanzo.....	15
Figura 3. Diagrama de un extrusor	24
Figura 4. Densidad aparente de las harinas de leguminosas obtenidas por los diferentes tratamientos	43
Figura 5. Capacidad de absorción de aceite de las harinas de leguminosas obtenidas por los diferentes tratamientos	45
Figura 6. Capacidad de absorción de aceite de las harinas de leguminosas obtenidas por los diferentes tratamientos	46
Figura 7. Capacidad espumante y estabilidad de la espuma del frijol crudo	48
Figura 8. Capacidad espumante y estabilidad de la espuma de la harina de cocción tradicional de frijol	48
Figura 9. Capacidad espumante y estabilidad de la espuma de la harina de frijol extrudida a 140 °C	49
Figura 10. Capacidad espumante y estabilidad de la espuma de la harina de frijol extrudida a 160 °C	49
Figura 11. Capacidad espumante y estabilidad de la espuma de la harina de frijol extrudida a 180 °C	50
Figura 12. Capacidad espumante y estabilidad de la espuma del garbanzo crudo	50
Figura 13. Capacidad espumante y estabilidad de la espuma de la harina de cocción tradicional de garbanzo.....	51
Figura 14. Capacidad espumante y estabilidad de la espuma de la harina de garbanzo extrudida a 140 °C	51
Figura 15. Capacidad espumante y estabilidad de la espuma de la harina de garbanzo extrudida a 160 °C	51
Figura 16. Capacidad espumante y estabilidad de la espuma de la harina de garbanzo extrudida a 180 °C	52
Figura 17. Capacidad espumante y estabilidad de la espuma de soya cruda	52
Figura 18. Capacidad espumante y estabilidad de la espuma de la harina de cocción tradicional de soya	53

Figura 19. Capacidad espumante y estabilidad de la espuma de la harina de soya extrudida a 140 °C	53
Figura 20. Capacidad espumante y estabilidad de la espuma de la harina de soya extrudida a 160 °C	54
Figura 21. Capacidad espumante y estabilidad de la espuma de la harina de soya extrudida a 180 °C	54
Figura 22. Perfil de viscosidad de las harinas de leguminosas sometidas a los diferentes procesos.....	65

1. INTRODUCCIÓN

La desnutrición ha alcanzado altos índices a nivel mundial, estimándose que aproximadamente 15.5% de la población la padece, siendo los infantes la tercera parte de este porcentaje. Para minimizar los problemas de la desnutrición se ha incrementado la producción de alimentos altamente nutritivos y se han planteado diversas alternativas para su proceso, empleando diferentes métodos de procesamiento y gran variedad de materias primas (Barreto *et al.*, 2016), siendo los cereales las materias vegetales más utilizadas, sin embargo, estos tienen bajo contenido de proteínas, además presentan deficiencia en su perfil de aminoácidos. Por lo anterior, existe interés en incorporar otros productos con el fin de mejorar las propiedades nutricionales de los alimentos.

Una alternativa pueden ser las leguminosas, las cuales han ganado un creciente interés por parte de la industria de alimentos, debido a que forman parte de la dieta mediterránea y son una fuente valiosa de nutrimentos como proteínas (con un buen perfil de aminoácidos), carbohidratos (destacando la fibra), minerales, vitaminas hidrosolubles y compuestos fenólicos (Aguilera, 2010). Sin embargo, presentan compuestos antinutricios que afectan su digestibilidad; estos son termolábiles por lo que la aplicación de procesos térmicos podría incrementar la digestibilidad, mejorar sus características organolépticas y también sus atributos nutricionales (Roy *et al.*, 2010).

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.), el garbanzo (*Cicer arietinum* L.) y la soya (*Glycine max* L.) son tres de las leguminosas más importantes y populares a nivel mundial. Estos granos tienen un aporte proteico muy abundante, siendo una opción económica, ecológica y saludable que puede cumplir con los requerimientos energéticos de los consumidores. Sin embargo, contienen factores antinutricios como inhibidores de tripsina, saponinas, hemaglutininas y ácido fítico, entre otros (Serrano & Goñi, 2004; Roy *et al.*, 2010). La cocción es el proceso habitual al que se someten las leguminosas, donde se pueden inhibir los componentes antinutricios. No obstante, un proceso alternativo como la extrusión ofrece mayores

ventajas por su versatilidad, eficiencia y mejora en la calidad del producto. El proceso de extrusión es una tecnología donde la materia prima se somete a temperaturas altas con tiempos cortos con las ventajas de que no produce efluentes contaminantes y es muy versátil, pudiéndose aplicar en cereales listos para comer, botanas, bebidas, confitería y mezclas de alimentos nutritivos para la alimentación infantil (Milán *et al.*, 2007; Gutiérrez *et al.*, 2008; Reyes *et al.*, 2012). La extrusión provoca la pregelatinización de los gránulos de almidón, ocasionando la degradación de los polímeros obteniéndose fragmentos altamente solubles (Sarifudin & Assiry, 2014). Por esto, las harinas precocidas por extrusión son capaces de incrementar rápidamente su viscosidad, presentando una baja tendencia a la formación de grumos, teniendo características deseables para la industria alimentaria como un mayor poder espesante, mayor capacidad de retención y absorción de agua (Martínez *et al.*, 2015). Estas modificaciones no sólo incrementan la disponibilidad del almidón, sino también de las proteínas debido a la desnaturalización que sufren (Pérez-Navarrete *et al.*, 2007). Sin embargo, al realizar el proceso de extrusión en bajas humedades, las harinas de leguminosas tienden a perder viscosidad, su capacidad emulsificante y capacidad espumante (Wang *et al.*, 2019), por lo que se pueden ver limitadas sus aplicaciones, donde la extrusión en alta humedad podría mantener o mejorar las propiedades tecno-funcionales de estas harinas incluso en altas temperaturas.

La extrusión promete ser una excelente opción para la obtención de harinas funcionales, que pueden utilizarse para diversificar el consumo de leguminosas, mejorar la calidad nutricional y digestibilidad de productos con un perfil deficiente de aminoácidos como el caso de productos a base de cereales, que serían destinados a los sectores de la población vulnerables en Latinoamérica como es el caso de los niños. Por lo tanto, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la temperatura de extrusión a alta humedad sobre las propiedades tecno-funcionales, compuestos antinutricios y digestibilidad *in vitro* de proteínas de frijol, garbanzo y soya.

2. ANTECEDENTES

2.1 Desnutrición en América Latina en niños e influencia de la proteína

La desnutrición se define como un estado de deficiencia de uno o varios nutrientes, asociado a diferentes condiciones (Ortiz *et al.*, 2020). Desde hace décadas, la desnutrición constituye un problema serio de salud, afectando principalmente a niños donde aproximadamente en el mundo, 6.6 millones de niños menores de cinco años fallecen por desnutrición (Cueva *et al.*, 2021).

Durante el desarrollo de los niños se requiere una cantidad importante de nutrientes para poder contrarrestar el gasto energético; el desarrollo físico y mental están influenciados en gran parte por la ingesta de proteínas, ya que el cuerpo sólo puede almacenar una cantidad limitada y debe recibir un aporte diario de las mismas. La deficiencia de proteínas puede producir desnutrición calórica proteica, impactando directamente en el desarrollo del niño (Naranjo *et al.*, 2020).

La calidad de las proteínas depende de dos factores: su contenido en aminoácidos esenciales y su digestibilidad. El valor biológico de una proteína se establece de acuerdo su composición de aminoácidos y las proporciones entre ellos, siendo alto cuando estas proporciones son las necesarias para satisfacer las demandas de nitrógeno para el crecimiento, síntesis y reparación tisular (Ziegler, 1997). De los 20 aminoácidos existentes, ocho son esenciales para la vida (leucina, isoleucina, fenilalanina, metionina, lisina, treonina, triptófano y valina), pero no los produce el cuerpo humano, por lo que deben consumirse a través de la dieta. En el caso de los niños, 12 aminoácidos son esenciales (a los que se suma histidina, tirosina, cisteína, arginina) puesto que su organismo inmaduro no es capaz de producirlos (Naranjo *et al.*, 2020).

Por todo esto, la alimentación es el factor más importante en el desarrollo humano, siendo necesario enfocar los esfuerzos a la creación de productos que tengan la cantidad y calidad necesaria de nutrientes para cubrir las necesidades de las personas, en especial en las primeras etapas del crecimiento. Para que los

alimentos sean de fácil acceso a la población, se deben elaborar alimentos funcionales con materias primas abundantes que sean fuente importante en proteínas.

2.2 Leguminosas

Las leguminosas son semillas secas, limpias y sanas, separadas de las plantas que desarrollan vainas, procedentes de la familia *Fabaceae* y se han utilizado desde tiempos inmemorables para la alimentación (FAO, 2016). Son una excelente fuente de proteína vegetal, con un contenido proteico del 17 al 42%, el doble que los cereales. Sin embargo, las leguminosas son deficientes en aminoácidos azufrados como la metionina y la cisteína, por lo que el valor biológico de estas proteínas está condicionado por la deficiencia de estos aminoácidos. También, son una fuente importante de carbohidratos, minerales, algunas vitaminas del complejo B y lípidos en poca cantidad (Cuadro 1). Estas tienen especial relevancia en los países en que la ingesta proteico-calórica es baja, convirtiéndose en una fuente importante y económica de proteínas vegetales. Adicional a los efectos nutrimentales, estas leguminosas se han recomendado para el control de enfermedades metabólicas, cuyos beneficios se atribuyen, además de las proteínas, a otros fitonutrientes como la fibra, las saponinas, las isoflavonas y el ácido fítico. Por ello, los expertos aconsejan su reincorporación a la alimentación como fue común en la dieta mediterránea (Martínez & Zulet, 2003).

Diversos autores clasifican a las leguminosas en granos amiláceos, donde el componente principal es el almidón; proteaginosos, donde se destaca por su contenido proteico, u oleaginosos, cuando poseen una alta proporción de grasa. Dentro de estas semillas se encuentran las siguientes (Martínez & Zulet, 2003):

- Judía o frijol: judía común (*Phaseolus vulgaris* L. exp. Savi); judía de España o judía escarlata (*Phaseolus multiflorus* wild); judía de Lima (*Phaseolus lunatus* L.); judía carilla (*Vigna sinensis* L.).
- Lenteja (*Lens esculenta* moench).

- Garbanzo (*Cicer arietinum* L.).
- Guisante seco o chícharo (*Pisum sativum* S.).
- Haba seca (*Vicia faba* L.).
- Altramuz: altramuz blanco (*Lupinus albus* L.); altramuz amarillo (*Lupinus luteus* L.); altramuz azul (*Lupinus angustifolius* L.).
- Soya (*Glycine Soja* L., Sub y Lucc.).
- Cacahuete (*Arachis hypogea* L.).
- Garrofa (*Ceratonia siliqua* L.).
- Algarroba (*Vicia monanthos*).

Cuadro 1. Composición química de algunas leguminosas en base secas

Leguminosa	Energía (kcal)	Proteínas (g/100 g)	Lípidos (g/100 g)	Carbohidratos (g/100 g)	Humedad (g/100 g)	Fibra (g/100 g)
Frijol	286	17-23	1-2	45-59	8-12	8-25
Garbanzo	329	17-21	4-6	50-60	6-10	6-15
Chícharo	317	20-26	1-3	46-50	7-9	7-16
Lenteja	314	20-28	1-3	50-58	7-9	10-12
Haba	331	26-34	1-2	55-60	6-9	5-19
Soya	398	38-42	17-20	26-29	8-10	11-20

(Adaptado de Martínez & Zulet, 2003)

2.3 Consumo de leguminosas

Aparte de consumir las semillas cocidas, también existen muchas otras formas en que pueden prepararse las leguminosas, de acuerdo con la región y factores étnicos de cada país. Generalmente se utilizan en la preparación de distintos platillos como guisos, sopas, ensaladas, y harinas aportando diferentes texturas y sabores; además se pueden preparar asadas, saladas y fermentadas, ofreciendo a las

personas una valiosa nutrición y beneficios potenciales para la salud (Aguilar & Vélez, 2013).

De todas las regiones del mundo, América Latina, es uno de lo que tiene los valores más altos de consumo en leguminosas, con 34 g *per cápita* (FAO, 2015). Entre las leguminosas más consumidas están los garbanzos, lentejas, frijoles, habas, chícharos, cacahuates y soya (Torres-González *et al.*, 2014). Mundialmente, el nivel promedio de consumo de leguminosas es de 21 g *per cápita* por día, mismo que ha permanecido sin cambio en las últimas tres décadas (Rawal & Navarro, 2019)

Algunos de los factores que podrían estar incidiendo en el bajo consumo de leguminosas es el desconocimiento del valor nutricional, a los largos periodos de preparación y un equipo específico (ollas a presión) que, en familias de bajos ingresos, se convierten en factores limitantes de su ingesta; e incluso el desconocimiento de las diferentes formas de preparación (Prada *et al.*, 2015). Sumado a esto, la presencia de factores de flatulencia (verbascosa, rafinosa, estaquiosa) también son causa del bajo consumo; estos oligosacáridos forman parte de una serie de compuestos que se conocen como factores antinutricios (Basso-Los *et al.*, 2018).

2.4 Compuestos antinutricios de las leguminosas

Pese a las ventajas que proporcionan desde el punto de vista nutritivo, las leguminosas han dejado de ser parte de los hábitos alimenticios, debido a diversos aspectos, entre ellos la presencia de una serie de sustancias denominadas factores antinutricios que afectan la digestión, absorción y metabolismo de nutrientes (Roy *et al.*, 2010). Los compuestos antinutricios en las leguminosas son moléculas que han evolucionado como un mecanismo de protección para ayudar a la planta a completar su ciclo de vida en condiciones adversas. Estos interrumpen el proceso de digestión cuando se consumen las semillas o harinas crudas de leguminosas, lo que hace que las semillas sean desagradables al paladar impidiendo su depredación. Los niveles de estas sustancias pueden variar de acuerdo con la

planta, la especie, la variedad, las condiciones de crecimiento, las estaciones del año, el tratamiento poscosecha y la germinación del material de semilla (García, 2004; Roy *et al.*, 2010).

Los antinutricios constituyen un grupo muy variado de compuestos de compleja clasificación, pues tienen diferencias en su estructura donde se encuentran funciones fenólicas, proteínas, anillos heterocíclicos de naturaleza variada y glicósidos (García, 2004).

Estos se pueden clasificar como termolábiles o termoestables, donde en los termoestables se encuentran los factores de flatulencia (oligosacáridos), los taninos, las isoflavonas, los fitatos y las saponinas; y en los termolábiles los inhibidores de proteasas, las lectinas, y los heterósidos cianogénicos. De manera general, se pueden clasificar en dos grupos: no proteicos (incluyen alcaloides, ácido fítico, compuestos fenólicos como taninos y saponinas) y proteicos (lectinas o aglutininas, inhibidores de tripsina, inhibidores de quimotripsina, péptido antifúngico y proteínas que inactivan los ribosomas) (Roy *et al.*, 2010).

2.4.1 Compuestos antinutricios no proteicos

El ácido fítico es un constituyente esencial de casi todas las células vegetales. El factor no nutricional se debe a la capacidad de formar complejos fitato-mineral, con macro y micro minerales como el cobre, el zinc, el hierro, el potasio, el magnesio y el calcio, lo que inhibe su digestión y biodisponibilidad intestinal. Este se puede unir también a proteínas conformando complejos fitatos-proteína y proteína-fitato-mineral, provocando una inactivación de reacciones enzimáticas digestivas como la de pepsina, pancreatina y α -amilasa (Lozada Salcedo *et al.*, 2017). Sin embargo, varios estudios muestran efectos preventivos y terapéuticos del ácido fítico en diferentes enfermedades, debido a su capacidad de inhibir especies radicales de oxígeno, teniendo efectos preventivos y terapéuticos en diferentes enfermedades (Silva & Bracarense, 2016).

Los taninos son compuestos polifenólicos que se encuentran en la cascarilla de las semillas de las leguminosas. Estos provocan una disminución en el crecimiento debido a la inactivación de las enzimas digestivas sobre la proteína, hidratos de carbono y polímeros de almidón, pues forma complejos resistentes a la degradación enzimática ocasionando una insuficiente absorción de estos nutrientes. Afecta a las membranas mucosas produciendo pérdidas de proteína endógena, reduce la digestibilidad de los compuestos nitrogenados, y reduce la disponibilidad de macro y micro minerales formando compuestos insolubles que son poco asimilables por el organismo (Lozada Salcedo *et al.*, 2017). Se les han atribuido diversas actividades biológicas como antitumoral, citotóxica, inhibidora enzimática, molusquicida, antihelmíntica, antihepatóxica y antiviral; además estudios demuestran que los taninos presentan también propiedades antimicrobianas ante diversos hongos levaduras y bacterias (Guillén-Román, 2013).

Los oligosacáridos de las leguminosas, conocidos también como α -galactósidos de sacarosa, están constituidos por residuos d-galactopiranosil unidos por una unidad de glucosa de la sacarosa, pertenecientes a la familia oligosacárida de la rafinosa. Los oligosacáridos de la rafinosa y estaquiosa interfieren en la degradabilidad y digestibilidad de las proteínas de los alimentos por inactivación enzimática. Estos componentes no pueden degradarse en el estómago llegando al colon, donde sufren un proceso de fermentación por parte de bacterias saprofitas sacarolíticas del intestino, formando ácidos grasos los cuales disminuyen el pH produciéndose una cantidad elevada de flatulencias por la acumulación de gases como metano, dióxido de carbono e hidrogeno. Debido a la acumulación de gases se presentan mioclonías, náuseas, dolor abdominal, estreñimiento o diarreas, y contracciones musculares fuertes (Lozada Salcedo *et al.*, 2017).

2.4.2 Compuestos antinutricios proteicos

Las lectinas (aglutininas) son proteínas fijadoras de carbohidratos ubicuas que se encuentran en una amplia variedad de plantas de leguminosas importantes como frijol, chícharo, garbanzo, lenteja y soya. Se sabe las lectinas son tóxicas para las

células, ya que pueden causar padecimientos como supresión del crecimiento, diarrea, distensión abdominal, vómitos y aglutinación de glóbulos rojos, e incluso pueden ser letales si se ingieren en altas concentraciones semillas crudas o harina de estas (Liener, 1994; Roy *et al.*, 2010). A pesar de esto, estudios demuestran que las lectinas tienen la capacidad de distinguir entre diferentes tipos de células, incluidas las células malignas y normales (Schwartz *et al.*, 1999), lo que ha dado lugar a numerosas aplicaciones como agentes anticancerígenos; disminuyen el crecimiento de linfomas no-Hodgking y pueden utilizarse como marcadores de tumores, ya que pueden identificar células en las primeras etapas de diferenciación a células cancerosas (Ulloa *et al.*, 2011).

Al igual que las lectinas, los inhibidores de la proteasa son componentes antinutricios que se han aislado de una amplia variedad de semillas de leguminosas. Dos inhibidores de la proteasa caracterizados son los inhibidores de la tripsina y la quimotripsina, que pertenecen a la familia de inhibidores de Bowman-Birk (BBI), estos contienen dos sitios activos que inhiben las enzimas proteolíticas tripsina y quimotripsina e interfieren con la digestión cuando las semillas o la harina de leguminosas se consumen crudas, causando hipertrofia pancreática, disminuyendo el crecimiento y el rendimiento del consumidor (Roy *et al.*, 2010).

Sin embargo, también muestran beneficios en bajas concentraciones ya que confieren protección contra rotavirus, inhiben la carcinogénesis y pueden utilizarse para proteger al organismo contra efectos secundarios de tratamientos de ciertas enfermedades (Ulloa *et al.*, 2011).

Estos componentes son eliminados durante los procesos de remojo y cocción, a los que usualmente son sometidos. En el remojo se reducen los niveles de oligosacáridos, saponinas, inhibidores de tripsina y taninos, siempre que se elimine el agua de remojo; pero no ocurre con las lectinas. En cambio, con la cocción se pueden inactivar la mayor parte de compuestos antinutricios, incluyendo a las lectinas e inhibidores de proteasa, que debido su carácter proteico se desnaturalizan (Shimelis & Rakshit, 2007). El problema de estos procesos es que se pierden

algunos nutrientes solubles como vitaminas, proteínas, fibra y minerales, ya sea por la solubilización o por la destrucción con calor. Prolongar la cocción produce una reducción significativa del contenido de proteína y una modificación en la estructura de la globulina, afectando también a los aminoácidos como arginina, cisteína, lisina, metionina, tirosina y leucina (Abbas & Ahmad, 2018).

Por ello, al obtener beneficios del consumo en bajas concentraciones de los compuestos antinutricios de las leguminosas, el encontrar métodos efectivos en la inactivación de estos factores, podría ofrecer al mercado nuevos productos basados en leguminosas, diversificando y aumentando su consumo en la población.

2.5 Valor comercial

De las leguminosas principalmente se consume el grano como alimento y su relevancia se debe a que son materia prima básica para la industria, con la que se producen generalmente aceites, aislados proteicos, aditivos y edulcorantes alimenticios, entre otros productos. Además de su calidad nutricional, también poseen propiedades tecno-funcionales que mejoran la apariencia, el color, la jugosidad, sensación en la boca y la textura de los alimentos (Aguilar & Vélez, 2013). A pesar de esto, las leguminosas siguen sin ser aprovechadas, siendo importante la búsqueda de alternativas para su implementación, por lo que para facilitar su incorporación podrían agregarse en forma de harinas.

Al respecto se ha planteado el aprovechamiento de las leguminosas de mayor consumo, tales como frijol común, soya y garbanzo, para la elaboración de productos análogos a los alimentos de origen animal (Aguilar & Vélez, 2013). Ya que la cantidad y calidad de sus nutrientes es alta, se pueden utilizar para enriquecer o sustituir a las proteínas de origen animal de varios productos y hacerlos de esta manera más económicos, principalmente aprovechando la proteína de soya. Se estima que más de 20,000 alimentos en el mercado, contienen soya; casi 1 de cada 4 productos (Torres & Tovar, 2009). Sin embargo, la soya es considerada como un alérgeno (INFOSAN, 2006), por lo tanto, semillas como el frijol común o el

garbanzo son opciones con el mismo potencial para cumplir con los requerimientos nutrimentales a un bajo costo.

2.6 Frijol común

El frijol común (*Phaseolus vulgaris* L.) es una de las legumbres más cultivadas en todo el mundo, con una producción mundial total de alrededor de 31 millones de toneladas al año (FAO, 2023). Para las poblaciones no desarrolladas, principalmente en América Latina, representan una alternativa económica para alcanzar los requerimientos energéticos y proteicos de la dieta (Boye *et al.*, 2010), ya que contienen del 20 al 30% de proteína y son una fuente importante de componentes bioactivos como fibra, minerales, vitaminas, polifenoles, péptidos, fitoesteroles, saponinas, entre otros que pueden ejercer beneficios en la salud (Basso-Los *et al.*, 2018; Chávez-Santoscoy *et al.*, 2014).

2.6.1 El frijol en América Latina

América Latina es la zona de mayor producción y consumo de frijol en el mundo, donde se estima que más del 45% de la producción mundial proviene de esta región donde existen diversas variedades de colores y tamaños (Figura 1). De acuerdo con las evidencias cronológicas, arqueológicas y botánicas encontradas, se reconoce que esta semilla es originaria de este continente y que se domesticó hace miles de años de acuerdo con las evidencias cronológicas, arqueológicas y botánicas encontradas (Bitocchi *et al.*, 2013).



Figura 1. Variedades en colores y formas de la semilla de frijol (Martirena *et al.*, 2017)

2.6.2 Composición química del frijol

Los frijoles se reconocen nutricionalmente como una buena fuente de proteínas, dos o tres veces mayor que los granos de cereales. Contiene altas cantidades de almidón, fibra dietética, minerales y vitaminas (Cuadro 2). Además, esta leguminosa presenta una gran variedad de fitoquímicos como: antocianinas, flavonoides, proantocianidinas, flavonoles, ácidos fenólicos e isoflavonas (Hayat *et al.*, 2013).

Cuadro 2. Composición química del frijol común

Descripción	Aporte
Energía (kcal)	132
Carbohidratos (g/100 g)	24.4
Proteína (g/100 g)	8.1
Lípidos (g/100 g)	2.1
Cenizas (g/100 g)	1.3
Fibra dietaría (g/100 g)	8.9
Calcio (mg/100 g)	26
Hierro (mg/100 g)	2.3
Magnesio (mg/100 g)	74
Fosforo (mg/100 g)	150
Potasio (mg/100 g)	345
Sodio (mg/100 g)	240
Zinc (mg/100 g)	1.1
Folato (μ /100 g)	150

(Adaptado de Meenu *et al.*, 2023)

El frijol es una de las principales fuentes de proteínas que aporta aminoácidos importantes como lisina, leucina e isoleucina. La digestibilidad aparente de la proteína de los frijoles negros cocidos (100 °C, 30 min) es de 68.8%, siendo la lisina el aminoácido más biodisponible (promedio de 84.6%) y la valina el aminoácido menos biodisponible. Sin embargo, los tratamientos térmicos excesivos pueden disminuir la disponibilidad de algunos aminoácidos, particularmente la lisina (Serrano & Goñi, 2004).

Los componentes mayoritarios en el frijol son los carbohidratos, mayoritariamente carbohidratos complejos (almidón y fibra), mientras que la fracción de azúcares (mono, di y oligosacáridos) es menor. El frijol presenta un bajo índice glucémico (IG: 20 y 28 respecto a glucosa y pan respectivamente) ya que la mayor parte del contenido total de almidón (42.9%), corresponde al almidón resistente, lo que supone que tan solo el 37.3% del total del almidón disponible puede repercutir directamente en la respuesta glucémica (Serrano & Goñi, 2004). En cuanto al contenido de lípidos, aunque el índice es relativamente bajo, exhibe un alto porcentaje de fosfolípidos (25 - 35% del contenido total de lípidos) y un contenido importante de ácidos grasos linoleico (7.8% - 13.8%) y linolénico (16.7% - 25.8%) (Celmeli *et al.*, 2018).

El grano de frijol es una importante fuente de vitaminas. Se han reportado en distintas variedades de frijol nutrientes como folato, tocoferoles, tiamina, riboflavina, niacina, biotina y piridoxina, de las cuales tiamina y niacina son las más abundantes (Campos-Vega *et al.*, 2010). También presenta un contenido mayor de minerales en comparación con otras leguminosas (Shimelis & Rakshit, 2005), tiene macroelementos en elevadas concentraciones, principalmente potasio y fósforo, estas cantidades son suficientes para cubrir los requerimientos nutricionales. Además, contiene trazas de microelementos como zinc, hierro, magnesio y cobre (Espinoza-García *et al.*, 2016).

Sin embargo, estas semillas como en la mayoría de los alimentos de origen vegetal contienen compuestos antinutricios en diferentes concentraciones (Cuadro 3) de acuerdo con la variedad; entre los que se pueden encontrar los inhibidores de enzimas (tripsina y α -amilasa), lectinas, fitatos, compuestos fenólicos y oligosacáridos que producen efectos adversos como toxicidad, molestias gastrointestinales y daños en la pared gastrointestinal en altas concentraciones (Abbas & Ahmad, 2018). A pesar de esto, se ha reportado que estos compuestos de la semilla de frijol pueden ejercer efectos benéficos en la salud a dosis controladas, actuando como compuestos bioactivos (Singh *et al.*, 2017).

Cuadro 3. Compuestos antinutricios en el frijol común

Compuesto antinutriicio	Cantidad
Ácido fítico (%)	0.4 – 0.6
Inhibidores de tripsina (UTI/mg)	4.8 – 12.3
Taninos (mg cat/g)	3.5 – 115.6
Lectinas (UH/mg)	87.7 – 512.0

UTI: Unidades de tripsina inhibida. mg cat: mg de equivalentes de catequina. UH: Unidades de hemaglutinación. (Iniestra-González *et al.*, 2005; Nciri & Cho, 2018; Shi *et al.*, 2018)

2.7 Garbanzo

El garbanzo (*Cicer arietinum L.*) es una especie de leguminosa, muy extendida en la India y en el mediterráneo. Se cultiva desde la antigüedad y presenta pocos requerimientos para su siembra. Es una especie de leguminosa, donde las características físicas del grano dependen de la variedad (genotipo) y de las condiciones ambientales en su desarrollo (Aguilar & Vélez, 2013). Esta semilla consta de una fracción más grande que los demás componentes, que es el embrión, dos cotiledones unidos en su superficie, un pequeño hipocótilo (eje embrionario) y una radícula (raíz embrionaria) ubicada en el "pico" del garbanzo (Figura 2). El embrión está rodeado por una cubierta (testa) que actúa como capa protectora (Wood *et al.*, 2011).

El garbanzo ocupa el tercer lugar entre los cultivos de legumbres a nivel mundial (11,67 millones de toneladas anuales), justo después del frijol (25,66 millones de toneladas). Etiopía se ha convertido en el principal país productor, exportando el grano el norte de África, al sur de Asia, Medio Oriente, Europa, América del Norte y América Latina (Merga & Haji, 2019).

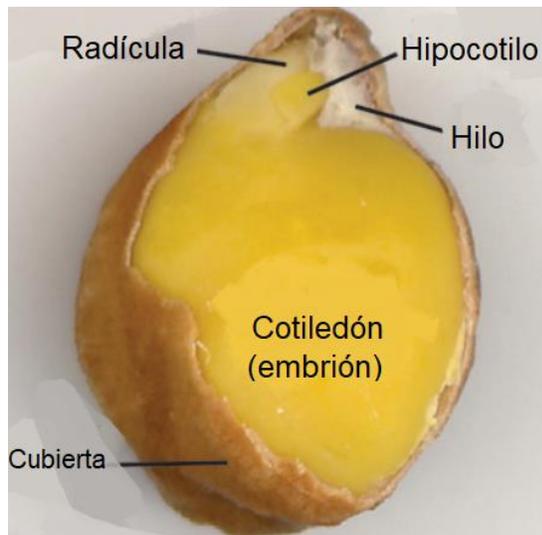


Figura 2. Estructura del grano de garbanzo (adaptado de Wood *et al.*, 2011)

2.7.1 El garbanzo en América Latina

Anualmente en el mundo, se ha siembra un promedio de 13 a 15 millones de hectáreas, en América Latina la producción de garbanzo se centra en los países de México produciendo alrededor de 171 mil toneladas anuales y Argentina con 84 mil toneladas anuales (FAO, 2023), donde la mayor parte se destina a la exportación; sin embargo, tras el surgimiento del hummus como un producto de valor agregado, ha incrementado la demanda interna, que ahora consume más del 65% de la producción (Merga & Haji, 2019).

2.7.2 Composición química del garbanzo

El garbanzo al igual que las otras leguminosas, es una buena fuente de proteínas y carbohidratos; además, de presentar un alto contenido de lípidos y fibra (Cuadro 4). También, posee importantes cantidades de algunas vitaminas (niacina, tiamina, ácido ascórbico) y minerales (Ca, P, Fe, K, Mg) (Aguilar & Vélez, 2013).

Cuadro 4. Composición química del garbanzo

Descripción	Aporte
Energía (kcal)	388
Carbohidratos (g/100 g)	68
Proteína (g/100 g)	25
Lípidos (g/100 g)	6
Cenizas (g/100 g)	4
Fibra dietaría (g/100 g)	17
Calcio (mg/100 g)	401
Hierro (mg/100 g)	10
Fosforo (mg/100 g)	561
Zinc (mg/100 g)	4

(Adaptado de Yegrem, 2021)

El 80% del peso total de la semilla está representado por los carbohidratos y proteínas que contiene; dentro de los carbohidratos se encuentran monosacáridos tales como la galactosa (0.05%), ribosa (0.01%), fructuosa (0.25%) y glucosa (0.7%). El garbanzo cuenta con una alta concentración de oligosacáridos: los α -galactósidos representan el 62% de los azúcares totales, de los cuales la rafinosa, estaquiosa y verbascosa están presentes. El contenido de polisacáridos en el garbanzo varía entre 37.5 a 50.8%, destacando al almidón que se encuentra en mayor proporción (50%) y presentándose en menor cantidad la fibra dietética soluble (3.7%) (Aguilar & Vélez, 2013).

Las proteínas del garbanzo son consideradas como las de mayor valor biológico, son una excelente fuente de aminoácidos esenciales, excepto los que contienen azufre, metionina y cisteína (Hirdyani, 2014). La mayoría de las proteínas que se encuentran son principalmente de reserva, que de acuerdo con sus propiedades de solubilidad se pueden clasificar como albúminas (10 - 20%), globulinas (70%), y glutelinas (10 - 20%) (Aguilar & Vélez, 2013).

En cuanto al contenido de lípidos, representa alrededor del 6%; aunque representen un bajo contenido, el garbanzo es rico en ácidos grasos insaturados como los ácidos linoleico y oleico, importantes desde el punto de vista nutricional (Hirdyani, 2014).

Contiene vitaminas hidrosolubles (riboflavina, niacina) y liposolubles (vitamina E), además de aportar alrededor el 15% de hierro y zinc; adicionalmente tiene algunos compuestos bioactivos con actividad biológica (Aguilar & Vélez, 2013).

Además de tener beneficios nutricionales, el consumo de garbanzos siempre requiere cierto procesamiento ya que tienen muchos factores antinutricionales (ácido fítico, inhibidor de tripsina, actividad de hemaglutinina, taninos y saponinas) que se encuentran en diferentes cantidades (Cuadro 5) dependiendo la variedad, etapa de madurez y condiciones agroecológicas (Yegrem, 2021).

Cuadro 5. Compuestos antinutricios del garbanzo

Compuesto antinutriicio	Cantidad
Ácido fítico (%)	0.7 – 1.2
Inhibidores de tripsina (UTI/mg)	1.9 – 11.9
Taninos (mg cat/g)	2.5 – 18.5
Lectinas (UH/mg)	6.2 – 256.0

UTI: Unidades de tripsina inhibida. mg cat: mg de equivalentes de catequina. UH: Unidades de hemaglutinación. (Alajaji & El-Adawy, 2006; Gupta *et al.*, 2021; Kaur *et al.*, 2019)

2.8 Soya

La soya (*Glycine max* L.) es otra de las leguminosas más consumidas en el mundo. Es originaria del continente asiático donde juega un papel importante en la alimentación, utilizándose para la producción de alimentos tradicionales como leche de soya, salsa de soya, tempeh, tofu, entre otros. La soya es la leguminosa que contiene mayor cantidad y mejor calidad de proteínas y por esto, se puede utilizar para fortificar productos a base de cereales. Tras su introducción en América, se ha incrementado su producción a causa de la necesidad de alimentos y combustibles de la creciente población mundial (Luna-Jiménez, 2007; Medic *et al.*, 2014).

2.8.1 La soya en América Latina

Su introducción en América Latina fue a causa de la lucha contra la desnutrición de niños de familias que no podían adquirir fuentes de proteína, como la leche y el

huevo. Estados Unidos es el mayor productor en el continente americano, con una aportación aproximada del 40% a la producción mundial (FAO, 2023); en América Latina los países que cultivan mayoritariamente esta semilla son Brasil y Argentina con una producción de 42 y 30 millones de toneladas, respectivamente. No obstante, la mayor parte de esta producción se destina al consumo animal, por lo que este valioso recurso proteínico se emplea en la ganadería para la obtención de proteína animal, que en los países latinoamericanos es cara a comparación de la proteína vegetal (Luna-Jiménez, 2007; Torres & Tovar, 2009).

2.8.2 Composición química de la soya

De todas las leguminosas, la soya destaca por la cantidad (40%) y calidad de sus proteínas. Se considera una semilla oleaginosa puesto que presenta un alto contenido de lípidos (20%) y morfológicamente se compone de una cutícula, hipocotilo y dos cotiledones. Desde el punto de vista comercial, los cotiledones son las partes más importantes de la semilla porque contienen la proteína y el aceite; estos se empaquetan en estructuras subcelulares llamadas cuerpos proteicos y oleosos (Luna-Jiménez, 2007). En el Cuadro 6 se describe la composición química de la semilla de soya.

Una taza de soya cocida (16.6 g de proteína) equivale a la ingesta diaria recomendada de proteína (30%) para un adulto mayor de 70 kg (Torres & Tovar, 2009). Los carbohidratos que aporta la semilla de soya son la sacarosa, rafinosa y estaquiosa, pero no contiene almidón, oligosacárido presente en la mayoría de los cereales.

También presenta algunas vitaminas y minerales, dependiendo del grado de maduración de la semilla, pero generalmente no son fuentes destacables de estos nutrientes. Del 1.5% al 2.5% de lípidos del grano, se encuentra en forma de lecitina (fosfolípido), componente que se separa a través de un proceso de desgomado y se vende como un producto de alto valor comercial (Luna-Jiménez, 2007). Debido al alto contenido de ácido linolénico, el aceite de soya es propenso a la oxidación y al desarrollo de sabores desagradables; sin embargo, tiene un valor

nutritivo alto, mostrando varios efectos positivos en la salud humana (Medic *et al.*, 2014).

Cuadro 6. Composición química de la soya

Descripción	Aporte
Agua (g/100 g)	10
Carbohidratos (g/100 g)	25
Proteína (g/100 g)	40
Lípidos (g/100 g)	20
Cenizas (g/100 g)	5
Fibra dietaria (g/100 g)	24.4
Calcio (mg/100 g)	470
Hierro (mg/100 g)	15
Magnesio (mg/100 g)	240
Fosforo (mg/100 g)	470
Zinc (mg/100 g)	3.7

(Adaptado de Luna-Jiménez, 2007 y Medic *et al.*, 2014)

Como en todas las leguminosas, la soya contiene compuestos antinutricionales que se asocian con flatulencias y alteraciones digestivas como lo son los galactooligosacáridos (rafinosa, estaquiosa y verbascosa), ácido fítico, lectinas (hemaglutininas), inhibidores de tripsina e isoflavonas (Cuadro 7) (Medic *et al.*, 2014); estos se eliminan en diferente cantidad mediante los diferentes métodos de cocción, por lo tanto, es importante continuar con el estudio de métodos efectivos para reducir los compuestos antinutricios, permitiendo su uso como ingrediente en la industria alimentaria.

Cuadro 7. Compuestos antinutricios de la soya

Compuesto antinutriicio	Cantidad
Ácido fítico (%)	1.0 – 2.3
Inhibidores de tripsina (UTI/mg)	16.7 – 93.2
Taninos (mg cat/g)	1.4 – 17.4
Lectinas (UH/mg)	1.2 – 6,000.0

UTI: Unidades de tripsina inhibida. mg cat: mg de equivalentes de catequina. UH: Unidades de hemaglutinación. (Medic *et al.*, 2014; Sattsangi *et al.*, 1982; Padgette *et al.*, 1995; Zhang *et al.*, 2011)

2.9 Harinas de leguminosas

Las harinas son productos que se obtienen de la molienda de cereales y otros alimentos ricos en almidón, principalmente de trigo. La harina de trigo es la más utilizada en panificación, debido a que cuenta con las características de calidad necesarias para elaborarlo. A pesar de esto, el trigo es deficiente en lisina y el contenido de fibra es bajo, por lo que una posible solución a estas deficiencias nutricionales, son las leguminosas (Torres-González *et al.*, 2014).

Las harinas de leguminosas son productos derivados de la molienda de las legumbres secas y despojadas de la parte cortical (Martínez & Zulet, 2003). Se utilizan para la fortificación de productos destinados a grupos de bajos ingresos en países en desarrollo y para pacientes que padecen enfermedades relacionadas con el estilo de vida (Hirdyani, 2014).

La incorporación de harinas de leguminosas en diversos los productos alimenticios brindan alternativas capaces de mitigar la desnutrición, principalmente de los niños, y con beneficios para el tratamiento de diversos padecimientos en adultos; permitiendo así, el incremento en la industrialización de estas semillas. Estas harinas como ingredientes tienen buenas expectativas en el mercado como en productos funcionales con bajos costos, principalmente en el desarrollo de productos de panadería (Torres-González *et al.*, 2014).

Se ha reportado que las harinas de leguminosas presentan un menor índice glucémico y un alto contenido de almidón resistente (Di Cariano *et al.*, 2020) e incluso muestran propiedades tecno-funcionales similares a las harinas convencionales de cereales (Du *et al.*, 2014; Ghavidel & Prakash, 2006; Nagmani, & Prakash, 1997; Sasulki *et al.*, 1996) siendo posible su incorporación en el diseño de productos con potencial para el tratamiento de enfermedades crónicas.

2.10 Propiedades tecno-funcionales de las harinas

Las propiedades tecno-funcionales se definen como las propiedades fisicoquímicas que afectan y modifican algunas características sensoriales o determinado comportamiento físico de un alimento, contribuyendo a la calidad final del producto. Estas propiedades son un reflejo de las propiedades intrínsecas de la proteína, afectando la apariencia, el color, la jugosidad, sensación en la boca y la textura de los alimentos; así como en el procesamiento durante las operaciones de corte, picado, mezcla, formación de masa, fibras y el transporte de materiales alimenticios (Aguilar & Vélez, 2013).

La importancia de la proteína en estas propiedades depende de parámetros como el tamaño de partícula, forma, composición aminoacídica, secuencia, relación hidrofobicidad/hidrofilicidad y factores extrínsecos como temperatura, pH, concentración, presencia de lípidos, azúcares y taninos asociados con las proteínas (Aguilar & Vélez, 2013).

Las propiedades tecno-funcionales se pueden clasificar en tres grupos principales (Guerrero *et al.*, 2003).

1. Propiedades de hidratación (interacción proteína - agua): sorción de agua, absorción y retención de agua, solubilidad, dispersabilidad y viscosidad.
2. Propiedades de superficie (interacción proteína con dos fases inmiscibles: agua - aceite, agua - aire): emulsificación, espumado, formación de película lipoproteínica.

3. Propiedades dependientes de la interacción proteína – proteína: gelificación, coagulación, elasticidad, cohesividad, dureza y adhesividad.

Las proteínas vegetales han adquirido interés debido al potencial de sus propiedades tecno-funcionales en alimentos (formación de geles, espumas y emulsiones, absorción de agua y aceite), siendo ideales en productos de panificación, cárnicos, lácteos, bebidas y alimentos de nutrición especializada (Aguilar & Vélez, 2013). Entre estas, las harinas de leguminosas han presentado propiedades similares a las harinas convencionales.

Kohajdová *et al.* (2011) llevaron a cabo una comparación de las propiedades funcionales de la harina de trigo con respecto a la harina de garbanzo, donde esta última mostró una mayor capacidad de retención de agua (5 g de H₂O/g de harina de garbanzo, 3.20 g de H₂O/g de harina de trigo), pudiendo utilizarse en productos de panadería, ya que permiten adicionar mayor contenido de agua mejorando así, las características de manejo y ayudando a mantener la frescura del pan.

En otro estudio realizado por Ramírez-Jiménez *et al.* (2014), harinas de frijol obtenidas por cocción tradicional, presentaron baja capacidad de absorción de aceite preservando de la mayoría de los compuestos bioactivos, convirtiéndolas en una excelente alternativa en la formulación de productos alimenticios bajos en calorías.

Las características tecno-funcionales y nutricionales, así como la adaptabilidad a diversas aplicaciones de las harinas, se determinan de acuerdo con la forma en que las semillas son procesadas (Luna-Jiménez, 2007). Se ha reportado que los procesos tradicionales de cocción afectan composición química y las propiedades funcionales de las harinas de leguminosas, donde la cocción previa aumenta el porcentaje disponible de proteína en las harinas, pero afecta sus propiedades emulsificantes (Esmat *et al.*, 2010), siendo importante la búsqueda de alternativas a este tratamiento. Para cumplir este objetivo se deben de implementar tecnologías que no modifiquen la calidad de sus nutrientes, por lo que se han propuesto diversos procesos térmicos para obtener estas harinas, además de la cocción:

deshidratación, tostado, microondas, calentamiento óhmico y extrusión (Aguilera *et al.*, 2011; Esmat *et al.*, 2010; Fares & Menga, 2012; García *et al.*, 2012; Lázaro-Cajusol & Sotelo-Herrera, 2017; Lima-Becerra, 2020).

2.11 Extrusión

La extrusión se define como un proceso continuo donde se realizan las operaciones unitarias de transporte, mezcla, cocción y troquelado. Así mismo, la extrusión se considera como un proceso termo-mecánico, que transforma física y químicamente los materiales por efecto de la temperatura, cizalla y presión (Emin *et al.*, 2016).

En la cocción por extrusión, la energía térmica fluye al producto desde una fuente externa durante el proceso o se genera por fricción en las superficies internas de la extrusora (Singh & Heldman, 2014). A la salida del extrusor la mezcla sufre una caída brusca de presión que provoca una rápida evaporación de agua y la “expansión” del producto (Farfán-López & De Basilio, 2014).

El extrusor es un equipo constituido por diferentes componentes como se observa en la Figura 3, donde los principales son una sección de alimentación, un tornillo que transporta los ingredientes a la sección de calentamiento y una sección de calentamiento. Son varios los factores que pueden afectar la calidad del producto final: el tipo de extrusor, la configuración del tornillo, la humedad del material, el perfil de temperaturas del proceso, la velocidad de giro del tornillo, la dosificación de la materia prima, así como el tipo de material e ingredientes adicionales (El-Samahy *et al.*, 2007). La extrusión se puede clasificar como húmeda o seca, donde esta última emplea niveles de humedad por debajo del 20%. Generalmente la cocción por extrusión húmeda tiene mayor rendimiento, al requerir menos cantidad de energía, además de ser más efectivo para la destrucción de compuestos antinutricios (Farfán-López & De Basilio, 2014) además de que propiedades como viscosidad, capacidad emulsificante y capacidad espumante podrían no verse afectadas.

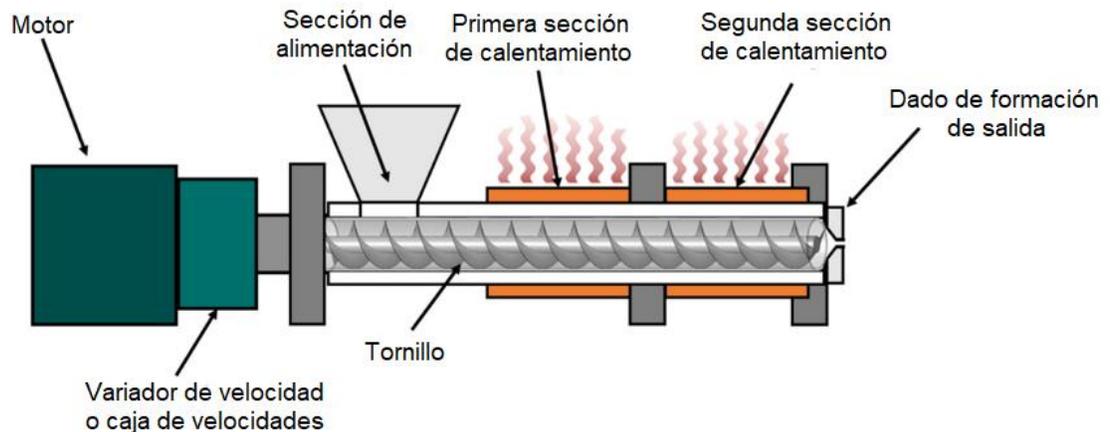


Figura 3. Diagrama de un extrusor (adaptado de Cervantes-Ramírez *et al.*, 2020).

2.11.1 Ventajas de procesamiento

La extrusión ofrece varias ventajas como la eficiente utilización de la energía, la ausencia de efluentes contaminantes, posibilidad de procesamiento en diversas formulaciones y la flexibilidad de operación, permitiendo la obtención de una gran diversidad de productos (Gutiérrez *et al.*, 2008).

La principal ventaja de este proceso es la modificación que sufren los materiales al sufrir calentamiento. Los tratamientos térmicos modifican las fracciones de almidón y proteína de las semillas de leguminosas, mejoran las propiedades funcionales, digestibilidad y se produce inactivación de factores antinutricionales (Al-Ruwaih *et al.*, 2019; Mojica *et al.*, 2015; Yin *et al.*, 2008).

Los ingredientes son transformados durante el paso a lo largo del extrusor, sufriendo modificaciones estructurales, químicas y transformaciones nutricionales. Los ingredientes pasan de un estado granular crudo a una masa continua, que involucra la ruptura de los gránulos de almidón, la desnaturalización de proteínas, oxidación lipídica y otras reacciones que modifican las propiedades nutricionales, texturales y organolépticas del producto final (Alam *et al.*, 2015).

2.11.2 Efecto de la extrusión sobre los nutrientes

El calor y la fuerza de cizallamiento durante la extrusión provocan cambios en la estructura organizada del almidón, produciendo una fragmentación parcial o total de los gránulos, así como la parcial o total destrucción de la estructura cristalina (Gutiérrez *et al.*, 2008). Estos cambios no alteran el contenido de almidón, pero incrementan la disponibilidad del almidón en las harinas, disminuyendo el contenido de almidón resistente por la gelatinización de los gránulos (Pérez-Navarrete *et al.*, 2007). Por otra parte, el proceso de extrusión en materiales con bajo contenido de carbohidratos complejos, no afecta el contenido de fibra (como en el caso de los cereales), pero donde el contenido de carbohidratos complejos es alto (como en las leguminosas), puede aumentar el contenido de fibra cruda (Arcila *et al.*, 2015). Al igual que pueden reducir el contenido los oligosacáridos que causan las flatulencias en estas semillas (verbascosa, rafinosa, estaquiosa); Berrios *et al.* (2010) reportaron que la extrusión a 160 °C con 17% de humedad, pudo reducir el contenido de oligosacáridos en harinas de extrudidas de leguminosas.

Debido a que en el proceso de extrusión se utilizan altas temperaturas en cortos tiempos, además del rápido enfriamiento de los materiales después del proceso, las pérdidas de vitaminas solubles como la vitamina C, suelen ser mínimas en comparación con otros tratamientos térmicos tradicionales. Se han reportado varios estudios que la extrusión retiene vitaminas B en los cereales, en particular tiamina, riboflavina y niacina (Offiah *et al.*, 2018).

La extrusión produce la desnaturalización de las proteínas provocando la ruptura de los puentes de hidrógeno y los enlaces disulfuro, responsables de las estructuras secundarias y terciarias de las proteínas. Esto provoca reducción de la solubilidad de las proteínas, favoreciendo su digestibilidad sumada a la inactivación de los factores antinutricios de las semillas de leguminosas (Steel *et al.*, 2012).

Los lípidos actúan como lubricantes, donde a temperaturas superiores a 40 °C asumen un estado líquido y se dispersan, modificando la viscosidad y el flujo de la mezcla a través de la extrusora, ayudando a reducir la fricción e influyendo en gran

medida en la textura, la pegajosidad y otros atributos de calidad del producto (Offiah *et al.*, 2018). Durante este proceso, se puede presentar la formación de complejos amilosa-lípido, según el tipo de almidón, siendo los ácidos grasos libres (principalmente ácidos grasos saturados como el ácido esteárico) los más propensos a la formación del complejo (Cervantes-Ramírez *et al.*, 2020). Por lo tanto, se disminuye el contenido de lípidos en las harinas, haciéndolos estables térmicamente e insolubles donde la temperatura y la velocidad del tornillo influyen en la creación de estos complejos (Tovar-Hernández *et al.*, 2017).

También se pueden formar complejos proteína-almidón. En la extrusión las proteínas pueden desplegarse, realinearse, hidrolizarse y entrecruzarse en las cadenas de almidón gelatinizadas, lo que puede conducir a una mejor textura y digestibilidad del producto, afectando la viscosidad, absorción de agua y solubilidad de agua de los extruidos resultantes (Zhang *et al.*, 2021).

2.11.3 Efecto de la extrusión sobre las propiedades tecno-funcionales

El almidón puede gelatinizarse por completo durante este procesamiento, sin embargo, una parte puede quedar como almidón pregelatinizado que tiene una alta capacidad de absorción de agua y solubilidad, proporcionando un efecto espesante para aplicaciones alimentarias (Liu *et al.*, 2017).

En un estudio realizado por Escobedo *et al.*, (2020) con extruidos de frijol a 120 °C aumentaron la capacidad de retención de agua, disminuyeron la solubilidad y mantuvieron la capacidad de retención de aceite en comparación con el frijol crudo, por lo que estas propiedades podrían aprovecharse en diferentes aplicaciones en los alimentos. En otro estudio realizado por Alfaro-Díaz *et al.*, (2021), reportaron que la extrusión a altas temperaturas mejoró las propiedades tecno-funcionales de las proteínas de frijol negro, principalmente aumentó la capacidad de emulsión, demostrando que podrían ser un ingrediente alternativo para la industria alimentaria con propiedades tecno-funcionales mejoradas.

2.11.4 Efecto de la extrusión sobre los compuestos antinutricios

La extrusión se estableció como uno de los métodos de procesamiento más eficaz para la destrucción de los compuestos antinutricionales llegando a reducir un 88% del ácido fítico, 99% los inhibidores de tripsina, 99% de lectinas y 98% los taninos, ayudando a mejorar la digestibilidad de almidón y proteínas (Offiah *et al.*, 2018).

Arribas *et al.* (2019) lograron reducir en mezclas de leguminosas-arroz un 5.7 – 30.9% el contenido de fosfatos y 50 – 97% de lectinas, mientras que lograron reducir por completo los inhibidores de proteasa, usando una temperatura de extrusión de 125 °C. Ciudad-Mulero *et al.* (2020) lograron reducir un 85% de oligosacáridos y hasta un 90% de ácido fítico, lectinas e inhibidores de tripsina en harinas de lenteja, usando temperaturas de 140 – 160°C con una humedad del 17%. Morales *et al.* (2015) reportaron que la extrusión (160 °C, humedad 17%) fue capaz de reducir el ácido fítico e inactivar casi por completo los inhibidores de tripsina y lectinas en snacks de harina de lenteja. El experimento realizado por Sánchez-Quezada (2018), se redujo los compuestos antinutricios (22 - 60% de reducción) en harina de frijol extrudido y mejorando la digestibilidad de la proteína, además de contar con propiedades tecno-funcionales ideales como solubilidad, índice de absorción de agua y aceite, para el desarrollo de un ingrediente funcional de bebidas.

En el estudio realizado por Lima-Becerra (2020) en harina de frijol, se demuestra que el procesamiento por extrusión es capaz de mejorar las propiedades tecno-funcionales y disminuir los compuestos antinutricios sin alterar el perfil de solubilidad de proteínas, que está relacionada con la biodisponibilidad de estas. Por lo que la implementación de la extrusión supone una ventaja en comparación con la cocción tradicional para la obtención de harinas de leguminosas, mejorando la digestibilidad al reducir los factores antinutricios; pero sin degradar los nutrientes, por lo que las harinas tendrían un mejor efecto en el consumo.

3. OBJETIVOS

3.1 General

Evaluar el efecto de la temperatura de extrusión sobre el contenido de compuestos antinutricios, las propiedades tecno-funcionales y digestibilidad *in vitro* de proteínas de harina de leguminosas (frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.), garbanzo (*Cicer arietinum* L.) y soya (*Glycine max* L.)).

3.2 Específicos

1. Determinar el efecto de la temperatura de extrusión sobre las propiedades tecno-funcionales en harinas de leguminosas.
2. Determinar el efecto de la temperatura de extrusión sobre el contenido de compuestos antinutricios como lectinas, ácido fítico, taninos condensados e inhibidores de tripsina en harinas de leguminosas.
3. Evaluar la digestibilidad *in vitro* de proteínas en harinas de leguminosas que presenten la cantidad de compuestos antinutricios y las propiedades tecno-funcionales similares a las obtenidas por el proceso tradicional.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Materia prima

Las semillas de frijol negro (*Phaseolus vulgaris* L.) utilizadas fueron cosechadas en León, Guanajuato (2021). Las semillas de garbanzo (*Cicer arietinum* L.), se obtuvieron de un cultivo agroecológico de Tarimoro, Guanajuato (2021). Las semillas de soya (*Glycine max* L.) se adquirieron del proveedor Mi Granero (ALDAY Ingredientes S.A. de C.V.) provenientes de Yucatán, México (2021).

4.2 Obtención de harinas de leguminosas por el método tradicional

4.2.1 Harina de frijol

La harina de frijol se obtuvo mediante la metodología reportada por Albarracín *et al.* (2010) con modificaciones. Se limpiaron y se seleccionaron los granos, para posteriormente someterse a cocción con una relación de agua de 1:3 (p/v), durante 90 min a ebullición (≈ 93 °C). Se drenó el agua y se secó a 50 °C durante 10 horas. Se molió en un molino tradicional (Pulvex S.A. de C.V., México) y se pasó por un tamiz de malla No. 60 (250 μ m). La harina se empacó en bolsas de plástico y se almacenó en refrigeración hasta su uso.

4.2.2 Harina de garbanzo

Se obtuvo la harina de garbanzo usando la metodología reportada por Alajaji & El-Adawy (2006) con modificaciones. Brevemente: las semillas limpias y seleccionadas se llevaron a cocción durante 70 min a ebullición (≈ 93 °C), con una relación 1:2 (p/v) de agua. Se drenó y se secó a 50 °C durante 10 horas. Los granos se molieron en un molino tradicional (Pulvex S.A. de C.V., México) y se pasaron por un tamiz de malla No. 60 (250 μ m). La harina se empacó en bolsas de plástico y se mantuvo en refrigeración hasta su uso.

4.2.3 Harina de soya

La harina de soya se obtuvo mediante la metodología reportada por Ramos *et al.* (2004) con modificaciones. Las semillas limpias y seleccionadas de soya se llevaron a cocción (≈ 93 °C) con una relación 1:2 (p/v) de agua, durante 70 min.

Se drenaron los granos y se secaron a 50 °C durante 10 horas. Se molió en un molino tradicional (Pulvex S.A. de C.V., México) y se pasaron por un tamiz de malla No. 60 (250 µm). La harina se empacó en bolsas de plástico y se almacenó en refrigeración hasta su uso.

4.3 Obtención de harinas de leguminosas por el método de extrusión

Para la obtención de las harinas extrudidas se utilizó un extrusor de acero inoxidable, de tornillo simple construido por CICATA-IPN Querétaro (Patente MX/a/2007/016262), que consta de dos zonas de calentamiento, con su respectivo controlador (Anexo 1). Se utilizó un tornillo con un diámetro de 2.54 cm y 45 cm de largo, una relación de compresión 1:1, una relación longitud/diámetro de 19 y una profundidad de hélice de 1/8 de pulgada. Se acopló un dado formador de salida de 5 mm (Anexo 2) y se alimentó a una velocidad constante de 15 rpm.

4.3.1 Obtención de harina extrudida

Siguiendo la metodología descrita por Escobedo *et al.* (2020) los granos limpios y seleccionados de frijol, garbanzo y soya, se acondicionaron a una humedad aproximada del 50%. Posteriormente, los granos enteros (Anexo 3) se sometieron al proceso de extrusión (características del equipo apartado 4.3). Para ello, ambas zonas de calentamiento se trabajaron a la misma temperatura (140, 160 o 180 °C), y se usó una velocidad de tornillo constante de 15 rpm. Los extrudidos (Anexo 4) se deshidrataron a una temperatura de 50 °C durante 12 h. Posteriormente se molieron usando un molino tradicional (Pulvex S.A.) y se pasaron por un tamiz de malla No. 60 (250 µm). La harina se empacó y almacenó en bolsas de plástico en refrigeración hasta su uso.

4.4 Análisis proximal

Se realizaron las siguientes determinaciones a la materia prima siguiendo los métodos de la AOAC (2002): humedad, grasa, proteína, cenizas y carbohidratos por diferencia de la suma de los anteriores. Además, se cuantificó la fibra dietaria total.

4.4.1 Humedad

Para la determinación de humedad se utilizó el método 925.09B. Se pesó 1 g de muestra de cada harina en un crisol previamente a peso constante. El crisol se colocó en una estufa a 110 °C durante 6 h. Posteriormente el crisol se enfrió dentro de un desecador y se pesó para determinar el porcentaje de humedad por diferencia de pesos.

4.4.2 Grasa

En un cartucho de celulosa se colocó 1 g de harina, se colocó un tapón de algodón y se puso en el compartimiento de extracción Soxhlet. Éste se ensambló a un matraz receptor (a peso constante) con 200 mL de éter de petróleo y a un refrigerante. El matraz con el solvente se colocó sobre una parrilla de calentamiento hasta su punto de ebullición hasta obtener 10 reflujos por hora, y se mantuvo por 5 horas. Terminado el tiempo se recuperó el solvente por destilación. El matraz se secó en una estufa a 60 °C hasta la completa eliminación de solvente y humedad. Finalmente, los matraces se pesaron y por diferencia se calculó el porcentaje de grasa (método 920.39).

4.4.3 Proteína

Se determinó con el sistema Kjeldhal (método 954.01), colocando 0.5 g de muestra en un matraz de digestión Kjeldhal. Posteriormente, se agregó una tableta de catalizadores (sulfato de sodio + sulfato de cobre) y se agregó 10 mL de ácido sulfúrico concentrado. La mezcla se llevó a digestión a 450 °C hasta obtener un color verde turquesa. Una vez frío, se agregaron 100 mL de agua destilada al matraz y se colocaron uno a uno en el destilador donde también se colocó un matraz Erlenmeyer de 250 mL, que contenía 25 mL de ácido bórico y los indicadores. El destilado recibido en el matraz se tituló con ácido clorhídrico 0.1 N. Se determinó el nitrógeno total (N) multiplicado por un factor de conversión equivalente al porcentaje de proteína presente en la muestra.

4.4.4 Cenizas

Se realizó con el método 923.03. Se colocaron 2 g de muestra de cada harina en un crisol de porcelana previamente puesto a peso constante, registrando su peso inicial. Primero se secaron durante 3 horas a 110 °C, posteriormente se calcinaron en una parrilla de calentamiento dentro de una campana de extracción hasta el cese de los vapores. Posteriormente el crisol se colocó dentro de una mufla a temperatura de 550 °C durante 3 horas. Una vez fría la muestra se pesó y se determinó el porcentaje de cenizas.

4.4.5 Fibra dietética total

La determinación de fibra dietética total se realizó de acuerdo con el método 991.43. Se deshidrató, desgrasó y luego se gelatinizó cada muestra con α -amilasa térmicamente estable para luego digerirlas enzimáticamente con proteasa y amiloglucosidasa para remover la proteína y el almidón. Los residuos que permanecen después del tratamiento enzimático se filtraron y se someterán a varios lavados con agua a 60 °C. Los residuos insolubles se aislaron mediante filtración y los solubles se precipitarán con etanol. Una vez secados los residuos gravimétricos en una estufa a 105 °C, se obtuvo la fibra insoluble y la fibra soluble.

4.5 Evaluación de propiedades tecno-funcionales

4.5.1 Densidad aparente

La densidad aparente se realizó por el método 945-04 recomendado por la AOAC (2005), para ello se pesó 1 g de harina y se colocó en una probeta graduada de 5 mL. Posteriormente, se dieron 60 golpes y se observó el volumen. La densidad se obtuvo aplicando la relación peso/volumen (g/cm^3).

4.5.2 Índice de solubilidad y absorción de agua

La evaluación del índice de solubilidad y absorción de agua en las harinas se evaluó en tres temperaturas (25, 50 y 80 °C), siguiendo la metodología reportada por Anderson (1996). En un tubo de Falcon de 50 mL (peso conocido) se suspendió 1 g (base seca) de harina en 10 mL de agua destilada a la temperatura de evaluación.

Posteriormente, se agitó en un vórtex durante 1 min y se centrifugó a 3,000 g durante 10 min a 25 °C. El sobrenadante se recuperó en charolas (peso conocido) y secó a 100°C por 12 h. Mientras que, los tubos se drenaron durante 1 min en una toalla de papel y se pesó la muestra para la determinación del índice de absorción de agua. Los resultados se expresaron como g de agua retenida por g de sólido seco (g/g) para el índice de absorción de agua, mientras que la solubilidad se expresó como la cantidad de sólidos retenidos en el sobrenadante (%).

4.5.3 Capacidad de absorción de aceite

Se determinó según la metodología reportada por Beuchat (1977). Brevemente, en un tubo falcón de 50 mL (peso conocido) se mezcló 1 g de harina (base seca) con 10 mL de aceite vegetal puro de soya. La suspensión se agitó durante 2 min en vórtex y se dejó reposar a temperatura ambiente (25 °C) durante 1 hora, para después centrifugar a 15,000 g durante 20 min. Se decantó el sobrenadante y se desechó. El aceite adherido en el tubo de centrifugación se removió con algodón y posteriormente se pesó el tubo. El resultado se expresó como el peso de aceite absorbido por gramo de harina.

4.5.4 Viscosidad

La viscosidad se determinó siguiendo la metodología reportada por Cabrera-Ramírez *et al.* (2021) utilizando un reómetro (Anton Paar Physica, MCR1-101, Australia). La mezcla se mantuvo en agitación constante (180 rpm) y sometió a una rampa de temperatura de la siguiente manera: 50 °C durante 1 min, posteriormente se incrementó la temperatura hasta alcanzar 92 °C (7.5 °C/min), se mantuvo por 5 min, luego se enfrió a 52 °C con la misma tasa de enfriamiento. Los datos se expresaron en centipoise (cP), reportando las viscosidades: inicial, pico, ruptura, mínima, final y retroceso, así como la temperatura de empastado (°C).

4.5.5 Capacidad emulsificante

Se determinó la capacidad emulsificante siguiendo a la metodología propuesta por Yasumatsu *et al.* (1992). Se mezcló 3 g de harina con 20 mL de agua, se ajustó el

pH (3, 5, 7 o 9 con NaOH o HCl 0.1 N). La mezcla se agitó durante 15 min y se aforó a 25 mL con agua destilada. Posteriormente, se mezcló con 25 mL aceite vegetal puro de soya en una licuadora de inmersión (Taurus, Remoline, España) por 1 min y se centrifugó a 1,300 g por 5 min. La capacidad emulsificante se expresó en términos de porcentaje, como la altura de la capa emulsificada con respecto al total del líquido.

4.5.6 Capacidad espumante y estabilidad de la espuma

Se siguió la metodología reportada por Bencini (1986). En tubo falcón de 50 mL (volumen conocido), se mezcló 0.5 g de muestra con 25 mL de agua con un homogenizador de alta velocidad (Ultra-turrax, IKA T-25, USA) a 24,000 rpm durante 3 min. Con ayuda de un vernier, se midió el incremento del volumen final a los 30 s. La capacidad espumante se expresó como el porcentaje de aumento en volumen. La estabilidad de la espuma se midió en intervalos de tiempo de 5, 10, 15, 30, 60, y 120 min.

4.5.7 Capacidad de gelificación

Se determinó la capacidad de gelificación mediante la metodología reportada por Coffman & García, (1977). Se prepararon suspensiones de harina al 4, 8, 12 y 14% (p/v) en agua destilada, de los cuales se tomaron 5 mL en tubos de ensayo de 15 mL. Se colocaron en baño caliente a 100 °C por 1 hora y posteriormente en un baño de hielo durante 1 h. La gelificación se determinó como la menor concentración a la cual la muestra del tubo invertido no cae o se desliza.

4.6 Cuantificación de factores antinutricios

4.6.1 Cuantificación de lectinas

Se realizó una extracción de las lectinas en las harinas extrudidas y obtenidas por el proceso tradicional, así como en las semillas de las tres. A 0.1 g de harina se agregó 10 mL de solución salina (NaCl 0.9%) y se agitó durante 18 horas. Después el extracto se centrifugó a 12,000 g por 20 min y el sobrenadante se utilizó para el ensayo de hemaglutinación usado por Reynoso-Camacho *et al.* (2003). En un tubo

con anticoagulante (EDTA) se tomó 1 mL de una muestra de sangre tipo A u O (cuidando que fuera fresca y siempre de la misma fuente) y se agregó 13 mL de solución salina. Los eritrocitos se lavaron tres veces con la misma solución y entre cada lavado se recuperaron los eritrocitos mediante centrifugación a 3,000 g durante 10 min. Se realizó una solución al 4% de eritrocitos, se añadió 1 mL de solución de proteasa al 0.2% y se incubó a 37 °C por una hora. Al finalizar este tiempo, se resuspendieron los eritrocitos y se lavaron tres veces más. Finalmente, se realizó una nueva dilución al 4% en solución salina.

Posteriormente, en una microplaca de 96 pozos con fondo cónico se añadieron 50 µL del extracto de la muestra de harina usando como control positivo lectina al 0.2% en solución salina y como control negativo solución salina. Se realizaron diluciones del orden 2 con la solución salina para las muestras y los controles. A cada pozo se le agregaron 50 µL de la solución de eritrocitos y la placa se dejó en reposo a temperatura ambiente durante una hora.

La actividad hemaglutinante se expresó en unidades de hemaglutinina/mg de proteína. Las unidades de hemaglutinina se definen como el inverso de la última dilución que presenta aglutinación positiva.

4.6.2 Cuantificación de inhibidores de tripsina

La cuantificación de inhibidores de tripsina se realizó con la técnica propuesta por Kakade *et al.* (1974). Se tomó 1 g de muestra de cada harina obtenida por los diferentes tratamientos, así como la muestra sin tratamiento de las tres leguminosas, y se adicionó 50 mL de NaOH (0.01 N) con mezclado continuo durante 3 horas a temperatura ambiente. Se ajustó el pH a 8.2 con HCl (0.1 N) y se centrifugó a 3,000 g durante 10 min. Se tomó 5 mL del sobrenadante y se le adicionaron 15 mL de agua destilada para obtener un extracto 1:4 con menor turbidez. De esta dilución se tomó una alícuota de 500 µL para el tubo muestra y otros 500 µL para el blanco. Posteriormente se realizaron diluciones sucesivas tomando 250 µL del tubo de muestra más 250 µL de agua destilada para obtener una dilución 1:8 y se repitió el procedimiento hasta obtener diluciones 1:16, 1:32,

1:64. Los blancos de muestra se realizaron de la misma forma. A cada tubo muestra diluida se le adicionó 250 µL de tripsina y se dejó reposar durante 5 min. Enseguida se agregaron 625 µL de BAPNA (N-α-benzoyl-arginine-p-nitroanilide) y se incubaron a 37 °C durante 10 min. Posterior a esto, se adicionaron 125 µL de ácido acético al 30% para detener la reacción.

Para los blancos, se agregaron 250 µL de tripsina más 125 µL de ácido acético al 30% a cada dilución, se mezclaron y se añadió 2.5 mL de BAPNA. Uno de los tubos será el control de máxima absorbancia colocando 250 µL de agua destilada más 250 µL de tripsina. Se dejó en reposo durante 5 min y enseguida se adicionó 625 µL de BAPNA. Se incubó a 37 °C y se le agregaron 125 µL de ácido acético al 30%. Para el blanco de análisis se preparó un tubo de absorbancia cero, mezclando 250 µL de agua destilada más 250 µL de tripsina, 125 µL de ácido acético al 30 % y 625 µL de BAPNA, respetando el orden de adición de los reactivos. En una microplaca de 96 pozos se colocaron 250 µL de cada muestra.

Se midió la absorbancia a 410 nm y los resultados se expresaron como unidades inhibidas de tripsina (UIT) por miligramo de muestra según la siguiente ecuación:

$$UIT = \frac{[\text{Tubo abs max} - (\text{Tubo muestra} - \text{Tubo blanco muestra})] \times \text{FD}}{0.01}$$

4.6.3 Cuantificación de ácido fítico

Se determinó el contenido de ácido fítico por el método de Wheeler & Ferrel (1971). Para ello, se mezclaron 3 g de harina con 30 mL de HCl (1.2%) y se agitaron a temperatura ambiente durante 25 min en frascos color ámbar. Se centrifugó el extracto a 3,000 g durante 20 min y se transfirió una alícuota de 5 mL del sobrenadante a un tubo de centrifuga en donde se le agregó 2 mL de solución de FeCl₃ y llevó a ebullición por 45 min para después centrifugarlo a 3,000 g por 15 min. Una vez descartado el sobrenadante, el precipitado se lavó con 10 mL de HCl (1.2%) y se calentó a ebullición 15 min y se centrifugó nuevamente. Se repitió el lavado con agua destilada, se llevó ebullición y se centrifugó. Se descartó el sobrenadante y al precipitado se le adicionó 1.5 mL de NaOH (1.5 N) con 5 mL de

agua destilada, y se llevó a ebullición 30 min. Se filtró e en caliente a través de un papel de filtro Whatman N°2 con 35 mL de agua destilada desechando el filtrado. El precipitado se disolvió con 1 mL de HNO₃ (3.2 N) y agua destilada 9 mL en tubos Falcón cubiertos de la luz y se agitaron por 10 min. Se tomaron 50 µL de esta solución, se añadieron 200 µL de KSCN (1.5 M) y 750 µL de agua destilada, para finalmente leer la absorbancia en el espectrofotómetro a 480 nm. Para la curva de calibración se realizó una solución con 300.24 mg de Fe (NO₃)₃ en 10 mL de agua destilada; se tomaron 0.25 mL de esta solución y se aforó a 25 mL. Se realizaron las diluciones 5, 7.5, 10, 15, 20 y 25, en tubos cubiertos de la luz y se hicieron reaccionar con 200 µL de KSCN (1.5M). El contenido se ácido fítico se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Ácido fítico} = \frac{\text{mg Fe} \times 15 \times 100 \text{ g de muestra}}{\text{peso de la muestra (g)}}$$

4.6.4 Cuantificación de taninos condensados

Se utilizó la técnica descrita por Deshpande & Cheyra (1987), adaptado a microplaca. A 1 g de harina (peso seco) desgrasada, se adicionó 10 mL de metanol puro y se llevó a agitación por 24 horas a temperatura ambiente en frascos ámbar. Después de este tiempo, se centrifugó a 3,000 g por 10 min a 21 °C recolectando el sobrenadante en frascos color ámbar. Se tomó 50 µL de los frascos ámbar y se colocaron en pozos de microplaca de 96 pozos, se adicionaron 200 µL de la solución de vainillina (0.5%: 1% vainillina y 8% de HCl (1:1 metanol)), utilizando un blanco con 50 µL del sobrenadante más 200 µL de HCl (4%) y se almacenó la microplaca a 30 °C por 20 min en ausencia de luz. La lectura se realizó a 492 nm en un lector de microplacas. Se realizó una curva de calibración de (+) – catequina, y los datos se expresaron en mg equivalentes de (+) – catequinas por gramo de muestra.

4.7 Digestibilidad *in vitro* de proteínas

Se utilizó el método *in vitro* descrito por Hsu *et al.* (1977) implementando un sistema multienzimático de tripsina, quimotripsina y peptidasa. Todas las muestras se pasaron por un tamiz No. 60 (250 μ m). Se prepararon 50 mL de suspensión acuosa de proteína (6.25 mg de proteína/mL) en agua destilada y se ajustó a pH 8.0 con HCl y/o NaOH (0.1 N) y se agitaron en un baño de agua a 37 °C. La solución multienzimática (1.6 mg de tripsina, 3.1 mg de quimotripsina y 1.3 mg de peptidasa/mL) se mantuvo en un baño de hielo y se ajustó a pH 8.0 con HCl y/o NaOH (0.1 N). A continuación, se añadieron 5 mL de la solución multienzimática a la suspensión de proteínas que se estaba agitando a 37 °C. Se registró el pH durante un período de 10 min usando un potenciómetro.

De acuerdo con la ecuación de la recta del cambio de pH en correlación con la digestibilidad, se determinó el porcentaje de digestibilidad mediante la siguiente fórmula:

$$y = 210.464 - 18.3 x$$

Donde x es el pH registrado a los 10 min.

4.8 Análisis estadístico

Los resultados se expresaron como los valores medios de dos réplicas \pm desviación estándar. Se aplicó un análisis de varianza ANOVA y una prueba de comparación de medias Tukey ($p < 0.05$).

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Composición química de las harinas

Las harinas presentaron variaciones en el contenido de humedad (Cuadro 8) debido a los distintos tiempos de secado requeridos en las harinas de cocción tradicional y las extrudidas, sin embargo, todas se mantuvieron por debajo de los límites máximos reportados de 15% para el almacenamiento de harinas por la Norma Oficial Mexicana NOM-247-SSA1-2008, y en el caso de las semillas por la NMX-FF-038-SCFI-2016 para frijol con humedad máxima de $13.0 \pm 0.5\%$, y del Codex Alimentarius (CODEX STAN 171-1989) para garbanzo y soya del 14%. Es importante mantener el porcentaje de humedad apropiado durante el almacenamiento, ya que altos valores en la humedad están asociados con el desarrollo de hongos, bacterias e insectos, además de favorecer la germinación en el caso de las semillas (Doria, 2010).

No existen diferencias importantes en el contenido de proteína de las harinas de cocidas por el método tradicional y el crudo, pero se presenta una disminución en el contenido de proteína de las harinas extrudidas en comparación con la harina de cocción tradicional resultado de una probable hidrólisis de proteínas que conlleva un aumento en la reacción de Maillard que impactará en la solubilidad y digestibilidad de proteínas debido a las temperaturas elevadas de extrusión y al alto contenido de humedad (Singh *et al.*, 2007). La semilla de soya y sus harinas son las que presentan la mayor cantidad de proteínas de las tres leguminosas evaluadas, seguido del frijol y el garbanzo.

En las leguminosas, el contenido de humedad juega un papel importante en las proteínas durante el proceso de extrusión. Durante la extrusión en alta temperatura ($>180^{\circ}\text{C}$), la reacción de Maillard se ve favorecida, y se obtienen mayores pérdidas de lisina disponible en harinas de leguminosas cuando se aumenta el contenido de agua de la mezcla. Además, se puede presentar la formación de enlaces disulfuro que reducen la solubilidad del nitrógeno en las harinas de leguminosas extrudidas,

siendo los productos que contienen mayor contenido de proteínas, los que presentan una menor solubilidad en nitrógeno (Camire *et al.*, 1990)

Cuadro 8. Composición proximal de las harinas

Harina	Humedad (%)	Proteínas (%)	Lípidos (%)	Cenizas (%)	Carbohidratos (%)
Frijol					
Crudo	8.29 ± 0.08 ^b	20.24 ± 0.00 ^a	1.23 ± 0.29 ^a	4.72 ± 0.13 ^a	65.52 ± 0.70
HCT	5.53 ± 0.28 ^c	20.95 ± 0.26 ^a	1.68 ± 0.10 ^a	3.16 ± 0.04 ^b	68.69 ± 0.96
E180	9.80 ± 0.38 ^a	18.63 ± 0.28 ^b	1.27 ± 0.05 ^a	4.43 ± 0.05 ^a	65.87 ± 1.07
Garbanzo					
Crudo	8.03 ± 0.09 ^a	15.80 ± 0.27 ^{ab}	10.57 ± 0.00 ^a	3.57 ± 0.04 ^a	62.02 ± 0.56
HCT	6.29 ± 0.25 ^c	16.63 ± 0.26 ^a	8.21 ± 0.40 ^b	2.31 ± 0.04 ^c	66.57 ± 1.34
E180	7.40 ± 0.15 ^b	14.85 ± 0.13 ^b	7.24 ± 0.43 ^b	3.39 ± 0.05 ^b	67.12 ± 1.07
Soya					
Crudo	6.34 ± 2.11 ^a	35.13 ± 0.48 ^b	11.80 ± 1.05 ^a	5.60 ± 0.05 ^a	41.13 ± 5.21
HCT	4.74 ± 3.20 ^b	38.56 ± 0.00 ^a	12.15 ± 0.02 ^a	4.19 ± 0.03 ^c	40.36 ± 4.59
E180	6.82 ± 0.28 ^a	33.43 ± 0.25 ^c	11.46 ± 0.78 ^a	5.43 ± 0.04 ^b	42.86 ± 1.90

Los resultados muestran promedio de dos réplicas ± desviación estándar, en base seca. Letras distintas en la misma columna en diferente leguminosa, indican diferencias significativas ($p < 0.05$). HCT: harina de cocción tradicional, E180: extrusión a 180 °C.

No presentan diferencias en el contenido de lípidos en las harinas de frijol y soya, pero en el caso del garbanzo se obtiene una disminución en las harinas de cocción tradicional y extrudidas en comparación con el garbanzo crudo; esto es atribuido principalmente al alto contenido de lípidos de la semilla, debido a las variaciones genotípicas de la zona donde se cultiva (Aguilar & Vélez, 2013). Al tener la semilla una mayor cantidad de lípidos, las altas temperaturas de proceso pueden provocar la oxidación de lípidos; se ha reportado que en procesos como la extrusión se puede presentar la formación de complejos amilosa-lípido (Pasqualone *et al.*, 2020).

A pesar de que la semilla de soya utilizada en esta investigación se obtuvo como una semilla baja en lípidos, esta es la que presenta una mayor cantidad de lípidos de las tres leguminosas.

El contenido de cenizas en la harina de cocción tradicional de las tres leguminosas presenta el menor contenido, debido a la solubilización de las sales que se pierden en el agua de cocción. Los minerales en los alimentos se encuentran en forma de sales solubles que, aunque suelen ser estables frente al pH, la temperatura, la luz y los oxidantes, migran hacia el agua de cocción en su preparación; llegando a perderse el 42% del contenido de minerales solubles en algunos alimentos llegando a impactar en el contenido final de cenizas (Moncada-Rodríguez & Gualdrón, 2006).

El contenido de fibra (Cuadro 9) no se ve afectado en las harinas de garbanzo, pero en las harinas de cocción tradicional de frijol y soya, se observa un aparente aumento en el contenido de fibra dietética total debido a un aumento en la fibra soluble en la harina de frijol y de fibra soluble e insoluble para la soya. Se ha observado que los tratamientos térmicos como hervido, cocido o tostado, originan un aumento de fibra dietética total. Esto no se atribuye a la síntesis sino a la formación de complejos fibra-proteína que pueden cuantificarse como fibra soluble e insoluble (Dhingra *et al.*, 2012).

Arribas-Martínez (2020) reportó que el proceso de cocción incrementó 2.4 veces el contenido de fibra total que, en comparación con el proceso de extrusión, redujo el contenido de fibra (20 - 25%) en productos de arroz, frijol y algarroba. Las leguminosas al ser alimentos con un aporte importante de fibra, es de importancia que su contenido no se vea afectado por los métodos de cocción.

Cuadro 9. Contenido de fibra dietaría de las harinas

Harina	Fibra dietética total (g/100 g)	Fibra soluble (g/100 g)	Fibra insoluble (g/100 g)
Frijol			
Crudo	25.39 ± 1.09 ^b	23.66 ± 1.37 ^b	1.73 ± 0.30 ^a
HCT	31.33 ± 0.09 ^a	29.68 ± 0.06 ^a	1.70 ± 0.04 ^a
E180	24.80 ± 2.10 ^b	20.72 ± 1.13 ^b	4.08 ± 0.98 ^a
Garbanzo			
Crudo	25.61 ± 1.10 ^a	21.52 ± 1.56 ^a	4.10 ± 0.47 ^a
HCT	29.22 ± 0.61 ^a	26.16 ± 0.65 ^a	3.10 ± 0.04 ^{ab}
E180	24.75 ± 2.15 ^a	22.83 ± 2.05 ^a	1.92 ± 0.10 ^b
Soya			
Crudo	27.49 ± 1.12 ^b	24.00 ± 1.03 ^b	3.48 ± 0.09 ^b
HCT	37.96 ± 0.95 ^a	31.83 ± 0.73 ^a	6.15 ± 0.23 ^a
E180	30.13 ± 1.72 ^b	26.97 ± 1.41 ^b	3.20 ± 0.30 ^b

Los resultados muestran promedio de dos réplicas ± desviación estándar, en base seca. Letras distintas en la misma columna en diferente leguminosa, indican diferencias significativas ($p < 0.05$). HCT: harina de cocción tradicional, E180: extrusión a 180 °C.

5.2 Caracterización tecno-funcional de las harinas de leguminosas procesadas por extrusión y el método tradicional

5.2.1 Densidad aparente

La densidad aparente se define como la cantidad de masa por unidad de volumen de los alimentos porosos, en donde el volumen incluye la cantidad de espacios vacíos en el alimento (Harper, 1989).

No existieron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los crudos y las harinas de cocción tradicional de frijol y garbanzo (Figura 4), sin embargo, en la soya se presentó una disminución en la densidad de la harina de cocción tradicional que se atribuye a una mayor desnaturalización de proteínas (componente mayoritario en su composición), debido a las altas temperaturas y los largos periodos del proceso

de cocción, obteniendo una matriz proteica más alargada y uniforme, sin bolsas de aire.

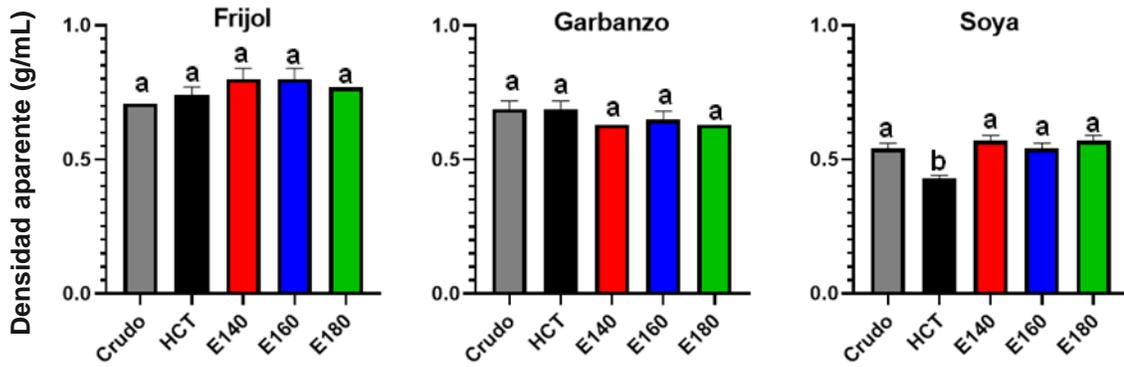


Figura 4. Densidad aparente de las harinas de leguminosas obtenidas por los diferentes tratamientos

Los resultados muestran promedio de dos réplicas \pm desviación estándar. Letras distintas en el mismo gráfico, indican diferencias significativas ($p < 0.05$). HCT: harina de cocción tradicional, E140: extrusión a 140 °C, E160: extrusión a 160 °C, E180: extrusión a 180 °C.

Las harinas de extrusión no mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) en comparación con las harinas de cocción tradicional para el frijol y el garbanzo, pero en la soya, la harina de extrusión presentó una mayor densidad. Sharma *et al.* (2016), reportaron que en la extrusión con altas humedades el producto obtenido puede ser más denso, debido a que el calor generado es menor por lo que se tiene un menor grado de desnaturalización.

La densidad de las harinas extrudidas de frijol oscilo de 0.77 a 0.80 g/mL, similar a lo reportado por Balandrán Quintana *et al.* (1998), donde obtuvieron densidades de 0.6 – 0.77 g/mL en extrudidos de frijol pinto a 140, 160 y 180 °C con humedades de 18 a 22%.

En las harinas extrudidas de garbanzo se obtuvieron valores para 0.63 - 0.65 g/mL que coinciden con lo reportado por Milán-Carrillo *et al.* (2000) donde obtuvieron

valores de 0.60 - 0.65 g/mL para harinas extrudidas de garbanzo fresco y endurecido sin cascarilla.

Para el caso de las harinas de soya extrudida los valores fueron de 0.54 a 0.57 g/mL que son más densas que las reportadas por Prado-López (1999), con valores de 0.45 – 0.46 g/mL para soya integral extrudida, pero con una densidad menor a lo reportado por Linko *et al.* (1981), de 0.67 g/mL en extrudidos de soya integral. Estas diferencias se atribuyen a de las diferentes variables de humedad y temperatura. El aumento en el contenido de humedad del alimento, a la misma temperatura de extrusión puede aumentar los valores de densidad aparente (Alam *et al.*, 2015).

De las tres semillas, la harina de soya es la que presenta una menor densidad aparente, esto se le atribuye a que en su composición contiene una cantidad muy baja de almidón (menos del 1%) (Medic *et al.*, 2014); el frijol negro y el garbanzo al contener almidón, se gelatiniza durante su procesamiento lo que incrementa la densidad de los productos (Lee *et al.*, 2000).

La densidad de las harinas es importante ya que impacta en la mezcla, el empaque y el transporte. Desde el punto de vista nutricional, la baja densidad aparente es ventajosa porque se consumirá una mayor cantidad del alimento y esto se traducirá en más nutrientes para el consumidor (Ocheme *et al.*, 2018). Además, las estructuras que presentan una baja densidad tienen una mejor textura, puesto que son materiales con una menor dureza en la semilla (Meng *et al.*, 2009). Esta propiedad puede ser útil en su implementación en productos de panificación o botanas.

5.2.2 Capacidad de absorción de aceite

La capacidad de absorción de aceite (CAA) es la cantidad de lípidos (g) que pueden absorberse por muestra de harina (g), resultado del atrapamiento físico de los lípidos por parte de las proteínas, que forman estructuras llamadas micelas. Esta propiedad está determinada por la estructura de la matriz proteica, la disposición de los aminoácidos no polares en la superficie de la proteína, que a su vez determina

las interacciones hidrofóbicas proteína-grasa, por el tipo de grasa y por la presencia de almidones (Kinsella, 1976).

No se observan diferencias significativas ($p < 0.05$) entre ninguna de las harinas de frijol, oscilando entre 0.94 – 0.96 g/g en las harinas extrudidas (Figura 8). Estos resultados coinciden con los reportados por Lima-Becerra, (2020) con 0.91 g/g en harinas extrudidas de frijol; también se encuentran dentro del rango reportado por Granito *et al.* (2009), con valores de 0.95 - 1.31 g/g para harinas de frijol cocidas de diferentes variedades de frijol.

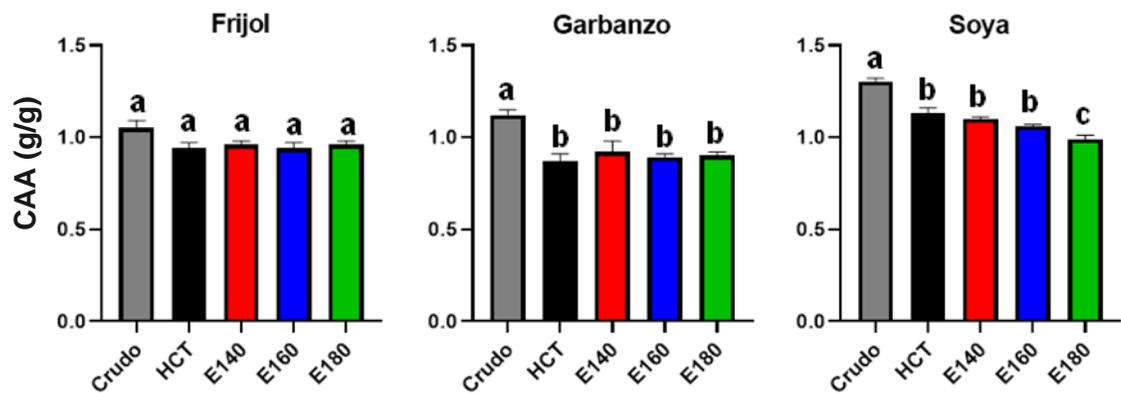


Figura 5. Capacidad de absorción de aceite de las harinas de leguminosas obtenidas por los diferentes tratamientos

Los resultados muestran promedio de dos réplicas \pm desviación estándar. Letras distintas en el mismo gráfico, indican diferencias significativas ($p < 0.05$). HCT: harina de cocción tradicional, E140: extrusión a 140 °C, E160: extrusión a 160 °C, E180: extrusión a 180 °C.

En el garbanzo se observa una disminución del 22% en la CAA entre el crudo y la harina de cocción tradicional; esto se puede atribuir al tratamiento térmico, que modifica las porciones hidrofóbicas de las proteínas (Schwenke, 2001), donde puede ocurrir la desnaturalización de las proteínas, agregación e interacción de los grupos hidrofóbicos (Wang *et al.*, 2019). No presentaron diferencias la harina de cocción tradicional y las harinas extrudidas de garbanzo, que presentaron valores de 0.89 a 0.92 g/g. Estos valores se encuentran por debajo a los reportados por

Wang *et al.* (2019), 1.17 – 1.33 g/g para harinas de garbanzo obtenidas por extrusión y por lo reportados por Kaur & Singh, (2006), 1.05 – 1.47 g/g para harinas crudas de garbanzo de diferentes variedades. Esto se debe a que la materia prima utilizada para obtener las harinas tenía una cantidad menor de proteínas y un contenido alto de lípidos, por lo que existen menos aminoácidos no polares disponibles para la interacción con los lípidos (Figura 6).



Figura 6. Capacidad de absorción de aceite de las harinas de leguminosas obtenidas por los diferentes tratamientos (Fillery-Travis *et al.*, 2000)

Para el caso de la harina de soya cruda y de cocción tradicional, se presentó una disminución del 13%, atribuido también al tratamiento térmico. Las harinas extrudidas no presentaron diferencias significativas comparadas con las harinas de cocción tradicional hasta la temperatura de extrusión de 180 °C, disminuyendo hasta un 12%, atribuido a las altas temperaturas de extrusión donde se ha demostrado que la extrusión en temperaturas mayores de los 80 °C y usando altos porcentajes de humedad (mayor al 50%) se acelera la formación de productos de la reacción de Maillard (Yaylayan *et al.*, 1992), principalmente en la proteína de soya que es notablemente sensible (Žilić *et al.*, 2013), lo que disminuye la disposición de los aminoácidos no polares en la superficie de la proteína. Estos resultados son menores a los reportados por Heywood *et al.* (2002) (1.66 - 2.22 g/g para harina de soya baja en grasa y desengrasada por extrusión), por las variaciones en la

composición entre las semillas. A pesar de esto, las harinas de soya presentan una mayor CAA, debido a que presentan un mayor porcentaje de proteínas en su composición.

Esta propiedad es deseable para la elaboración de productos cárnicos, panadería, productos para freír y sopas, ya que ayuda a la conservación de aromas y sabores, mejorar la palatabilidad (Du *et al.*, 2013), además de incrementar la vida media de productos además de disminuir el desarrollo de la rancidez oxidativa, aumentando su estabilidad durante el almacenamiento (Sathe, 2002).

5.2.3 Capacidad espumante y estabilidad de la espuma

Las espumas son sistemas coloidales bifásicos donde se dispersa una fase de gas o aire en una fase líquida o acuosa. La capacidad espumante (CES) se define como el volumen de espuma formada después del batido y se expresa como el porcentaje de volumen (Anexo 6); en la estabilidad se mide el tiempo que tarda en colapsarse la espuma (Anexo 7). La capacidad para formar o estabilizar las espumas depende principalmente de las proteínas donde influye el tipo de proteína, el grado de desnaturalización, la presencia o ausencia de iones de calcio, pH, temperatura, métodos de batido y otros componentes químicos como lípidos o carbohidratos (Aguilar & Vélez, 2013).

La capacidad para formar espumas en diferentes pH de las harinas de frijol, se observan en las Figuras 7 a 11. Se observa que la mejor capacidad espumante en las harinas extrudidas es a pH 3, además de ser las más estables manteniendo el mayor porcentaje de espuma hasta los 60 min.

Las condiciones extremas de pH ácido o alcalino pueden mejorar las propiedades espumantes ya que provocan la exposición de grupos hidrofóbicos de proteínas (Fennema, 1996).

En el pH 3, la temperatura de extrusión de 160 °C demostró una mejor capacidad espumante (38.91%), en comparación a las otras dos temperaturas. De acuerdo con Enwere *et al.* (1998), las harinas de frijol se caracterizan por ser estables, sin

embargo, se pueden ver afectadas por los tratamientos térmicos excesivos. Esto se comprueba con las harinas de cocción tradicional, ya que reducen más del 50% su capacidad de formación de espuma y estas no pueden permanecer en el tiempo, reduciendo a 0% en los primeros 15 min en todos los pH. Esto es debido a la desnaturalización proteica, que en conjunto con el método de batido puede disminuir considerablemente el poder espumante, debido a la agregación y precipitación de estas (Fennema, 1996).

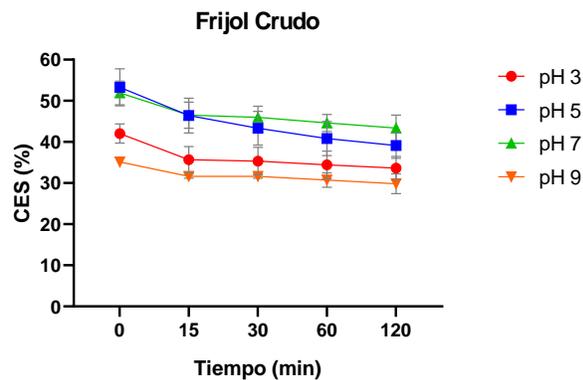


Figura 7. Capacidad espumante y estabilidad de la espuma del frijol crudo
CES: Capacidad Espumante.

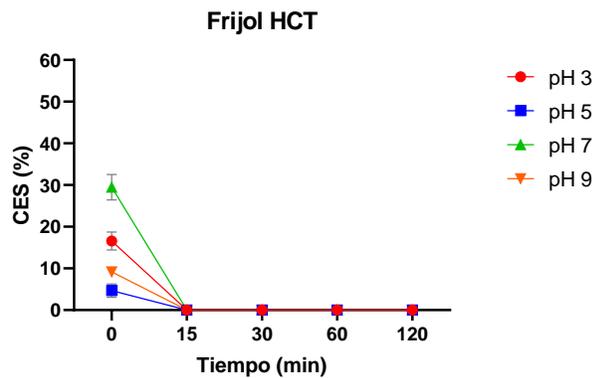


Figura 8. Capacidad espumante y estabilidad de la espuma de la harina de cocción tradicional de frijol
CES: Capacidad Espumante.

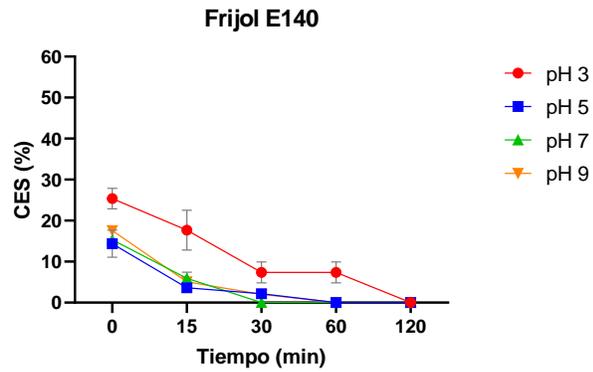


Figura 9. Capacidad espumante y estabilidad de la espuma de la harina de frijol extrudida a 140 °C
CES: Capacidad Espumante.

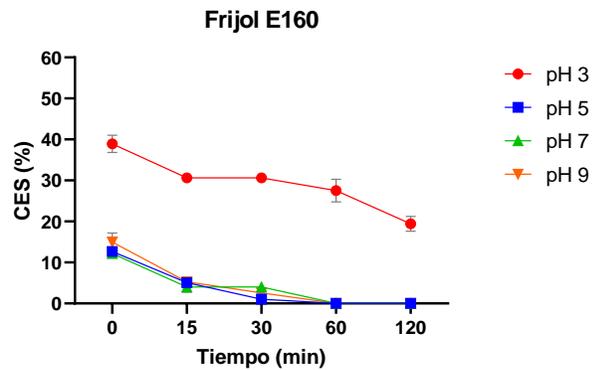


Figura 10. Capacidad espumante y estabilidad de la espuma de la harina de frijol extrudida a 160 °C
CES: Capacidad Espumante.

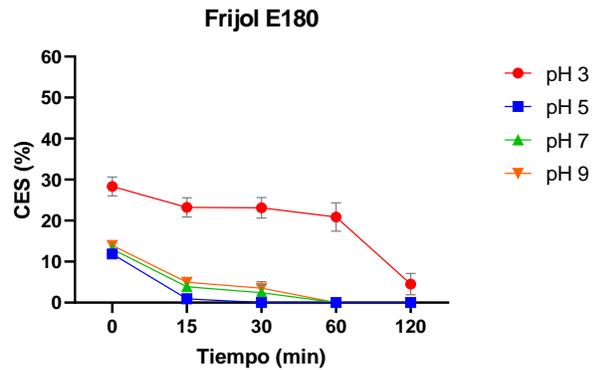


Figura 11. Capacidad espumante y estabilidad de la espuma de la harina de frijol extrudida a 180 °C
CES: Capacidad Espumante.

Las harinas de garbanzo tanto de cocción tradicional como extrudido mostraron una capacidad de formación de espuma del 10 al 30%, siendo la harina de cocción tradicional la que tiene una menor estabilidad de la espuma, ya que disminuye más del 40% de la espuma a los 30 min, atribuido a la desnaturalización proteica que sufre por los prolongados tiempos de cocción que impiden la interacción de estas para formar películas fuertes y cohesivas alrededor de las burbujas de aire (Aguilar & Vélez, 2013). El pH no resulta significativo en las harinas extrudidas a 140 °C, pero a partir de la extrusión a 160 °C los pH de 7 y 9 resultan tener una mayor capacidad espumantes y estabilidad, ya que se alejan del punto isoeléctrico.

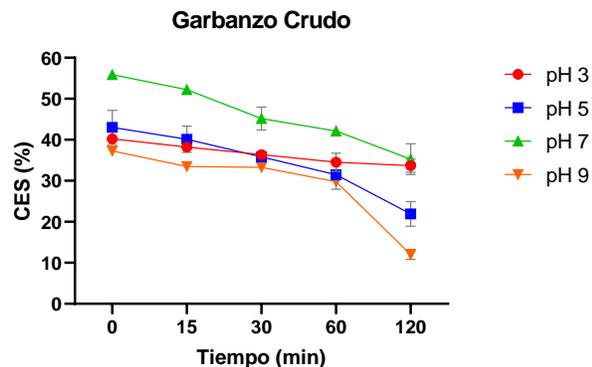


Figura 12. Capacidad espumante y estabilidad de la espuma del garbanzo crudo
CES: Capacidad Espumante.

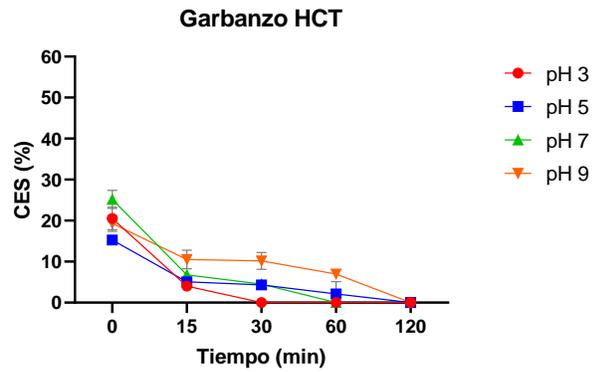


Figura 13. Capacidad espumante y estabilidad de la espuma de la harina de cocción tradicional de garbanzo
CES: Capacidad Espumante.

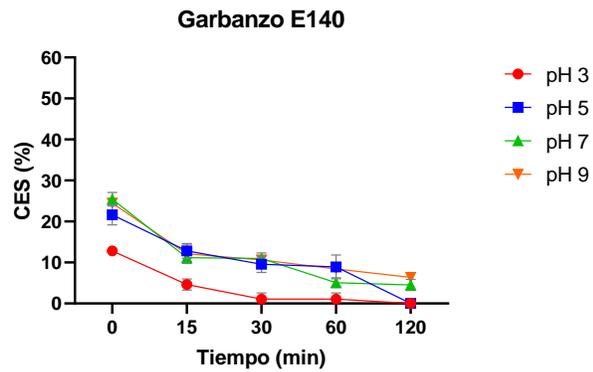


Figura 14. Capacidad espumante y estabilidad de la espuma de la harina de garbanzo extrudida a 140 °C
CES: Capacidad Espumante.

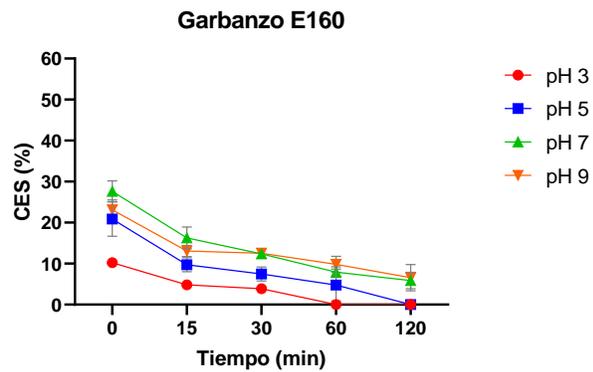


Figura 15. Capacidad espumante y estabilidad de la espuma de la harina de garbanzo extrudida a 160 °C
CES: Capacidad Espumante.

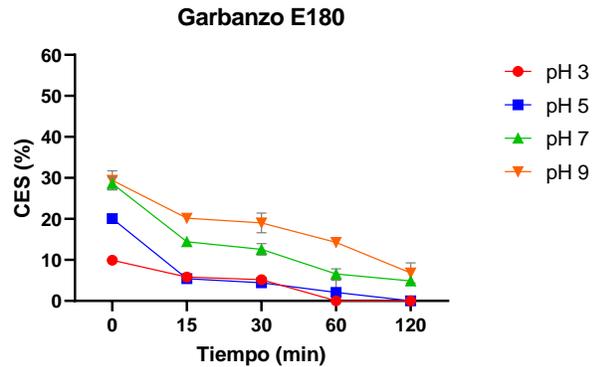


Figura 16. Capacidad espumante y estabilidad de la espuma de la harina de garbanzo extrudida a 180 °C
CES: Capacidad Espumante.

Contrario al frijol y al garbanzo, la harina de cocción tradicional de soya presenta una mayor estabilidad frente a las harinas extrudidas. En las proteínas de soya, la desnaturalización por calor da como resultado mayores propiedades espumantes debido al aumento de la hidrofobicidad de la superficie y la flexibilidad de la proteína desnaturalizada (Damodaran, 1994), siendo que en las extrudidas a 140 y 160 °C presentan la propiedad de formación de espuma más bajas que las de extrusión a 180 °C, se necesita de temperaturas más altas de calentamiento en este proceso si se requiere mejorar esta propiedad.

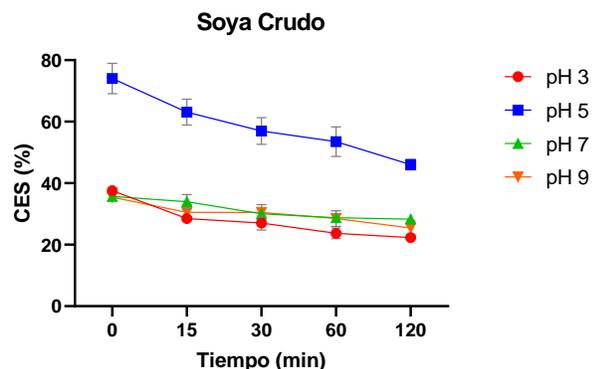


Figura 17. Capacidad espumante y estabilidad de la espuma de soya cruda
CES: Capacidad Espumante.

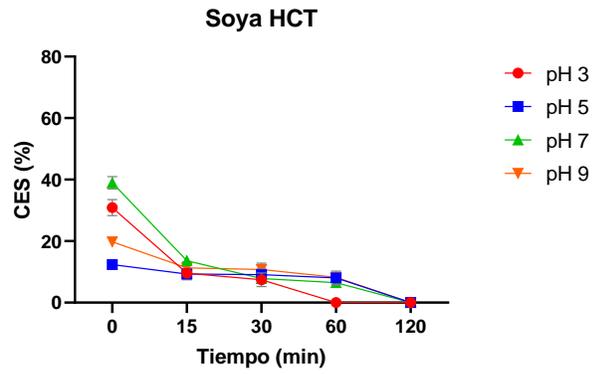


Figura 18. Capacidad espumante y estabilidad de la espuma de la harina de cocción tradicional de soya
CES: Capacidad Espumante.

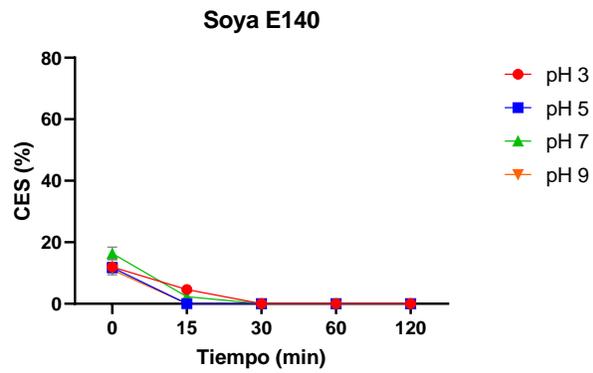


Figura 19. Capacidad espumante y estabilidad de la espuma de la harina de soya extrudida a 140 °C
CES: Capacidad Espumante.

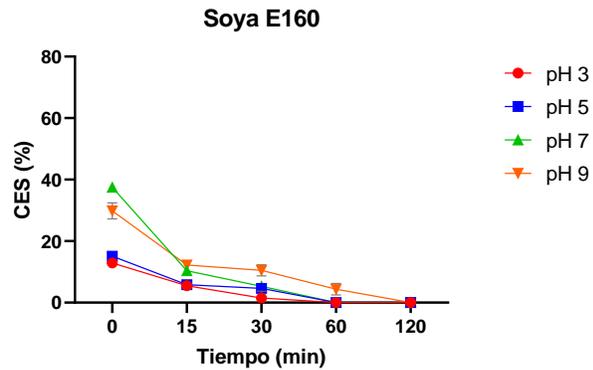


Figura 20. Capacidad espumante y estabilidad de la espuma de la harina de soya extrudida a 160 °C
CES: Capacidad Espumante.

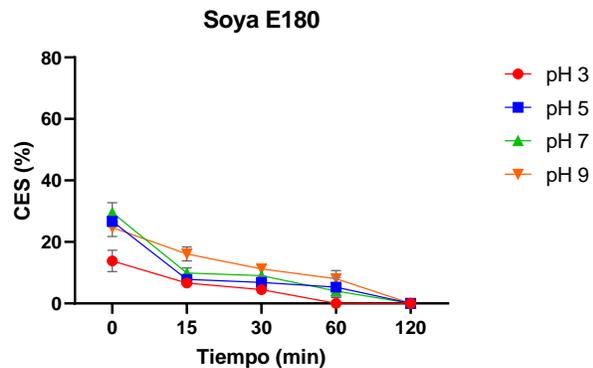


Figura 21. Capacidad espumante y estabilidad de la espuma de la harina de soya extrudida a 180 °C
CES: Capacidad Espumante.

La capacidad de las proteínas para formar espuma es una de las propiedades funcionales utilizadas en la elaboración de diversos productos de panificación, repostería, confitería y alimentos congelados (Aguilar & Vélez, 2013). Por lo que las tres leguminosas cumplen con esta característica, siendo las tres harinas extrudidas de frijol y garbanzo, y la harina extrudida de soya 180 °C las ideales para estas aplicaciones ya que mantienen un rango de 10-30% de formación de espuma y mejor estabilidad a diferente pH, en comparación con las harinas de cocción tradicional de estas leguminosas. Estos se podrían incluir como ingredientes en una

gran gama de productos, desde alimentos ácidos como lácteos y aderezos, hasta productos alcalinos como algunas bebidas.

5.2.4 Capacidad de gelificación

La gelificación es la formación de una red tridimensional mediante enlaces covalentes y no covalentes donde se absorbe e inmoviliza el disolvente, además de que el gel presenta propiedades microestructurales y mecánicas muy diversas (Che *et al.*, 2003). La capacidad de las proteínas vegetales para formar geles es una de las propiedades funcionales más importantes, ya que justifica su aplicación como ingrediente en la industria alimentaria y está influenciada por la concentración y tipo de proteínas, el pH y el nivel de sal (Ionescu *et al.*, 2011).

En el Cuadro 10 se presentan los resultados de la formación del gel en suspensiones preparadas con las harinas de leguminosas obtenidas por los diferentes procesamientos.

La concentración mínima en la cual se formó un gel para las harinas de frijol extrudidas fue del 12%, formando geles muy suaves. Gujska & Khan (1990), reportaron que la concentración mínima para la formación del gel para harinas extrudidas de frijol blanco y pinto con fracciones altas de almidón fue del 10 - 12%, usando temperaturas de extrusión de 110 – 150 °C demostrando que un incremento en la temperatura de extrusión no tiene efecto en la capacidad de gelificación de las leguminosas. En la harina de frijol obtenida por el proceso tradicional se observó la formación de gel hasta la concentración del 14%, formando geles débiles lo que se interpreta como que las proteínas formaron no gelificaron y no poseen la capacidad de retención de agua; una de las desventajas asociadas a este proceso es la agregación de las moléculas proteicas desplegadas frente al proceso térmico intenso, que conlleva a una insolubilización proteica (Cheftel, 1986).

Cuadro 10. Capacidad de gelificación de las harinas de leguminosas obtenidas por los diferentes tratamientos

Leguminosa	Tratamiento	Concentración (%)			
		4	8	12	14
Frijol	Crudo	X	X	X	X
	HCT				X
	E140			X	X
	E160			X	X
	E180			X	X
	Crudo	X	X	X	X
Garbanzo	HCT				X
	E140		X	X	X
	E160		X	X	X
	E180		X	X	X
	Crudo				
Soya	HCT				
	E140				
	E160				
	E180				
	Crudo				

(X) Concentración a la cual se observa la formación de gel. HCT: harina de cocción tradicional, E140: extrusión a 140 °C, E160: extrusión a 160 °C, E180: extrusión a 180 °C.

En las harinas extrudidas de garbanzo, la concentración mínima a la que se formó el gel fue del 8% donde se formaron geles suaves, y a partir de la concentración de 12% se obtuvieron geles firmes similares a los crudos (Anexo 8). La firmeza del gel es determinada por la presencia de proteínas globulares (Granito *et al.*, 2004). Gujska & Khan (1990), reportaron para harinas de garbanzo extrudidas con fracciones altas de almidón la concentración mínima para la formación del gel del 10%, lo que coincide con lo obtenido. En la harina de cocción tradicional de garbanzo se observó formación de gel hasta el 14% donde se obtuvieron geles muy suaves, lo que difiere por lo reportado por Ma *et al.* (2011), donde el garbanzo cocido pudo formar geles a partir del 10%. Estas diferencias se atribuyen al menor contenido de proteína de la semilla utilizada para la obtención de harinas.

En las harinas de soya tanto extrudidas como cocidas de forma tradicional no se obtuvo la formación del gel (Anexo 9) en las concentraciones del 4 al 14%, esto es debido a que la mayoría de las proteínas (90%) de la soya son globulinas (Kinsella,

1979). Las globulinas también clasificadas como 7S y 11S de acuerdo con su coeficiente de sedimentación, que son insolubles en agua fría. Wagner & Añón (1990) reportaron que la desnaturalización térmica de las proteínas de soya afecta la interacción con el agua promoviendo la agregación de estas. Dado que el calentamiento hace que las globulinas sean más insolubles, es necesario modificar su solubilidad para mejorar su aprovechamiento. Por esto se requiere de agentes coagulantes, donde las más usadas en las proteínas de soya son las sales de calcio y magnesio, o agentes acidificantes como la glucono-delta-lactona; con esto se podrá alcanzar un equilibrio entre fuerzas, para constituir la red y evitar la sinéresis del gel (Nishinari *et al.*, 2014).

La capacidad de para formar geles proporciona una dimensión adicional a la funcionalidad de la proteína y en el desarrollo de nuevos productos; para conocer si podrá formar una estructura estable para contener agua, sabores, azúcares e ingredientes alimentarios. Esta propiedad es importante en los productos como embutidos y es la base de muchos alimentos texturizados orientales por ejemplo, el tofu (Kinsella, 1979), siendo las harinas de frijol y garbanzo extrudidas las que podrían ser implementadas en estos usos sin necesidad de agregarse agentes coagulantes.

5.2.5 Índice de absorción de agua

El índice de absorción de agua (IAA) es un parámetro utilizado para medir la capacidad de absorción máxima de agua del almidón y proteínas en determinada muestra. El IAA juega un papel importante en el proceso de preparación de alimentos, ya que indica el comportamiento de las harinas cuando se reconstituyen, y mide la funcionalidad de nutrientes y compuestos bioactivos que interactúan con el agua (Ramírez-Jiménez *et al.*, 2014).

Existe un aumento significativo ($p < 0.05$) de 14 – 35% en las harinas de frijol de cocción tradicional y el crudo, en las tres temperaturas en las que se midió el IAA (Cuadro 11). Los procesos de cocción producen daño a los gránulos de almidón y la desnaturalización de proteínas, por lo que se obtienen harinas más porosas y con

mayor capacidad de atrapamiento de moléculas de agua debido a los aminoácidos polares expuestos (ej. serina, treonina glutamina) (Ma *et al.*, 2011). En las harinas de extrusión, se obtiene un IAA similar al proceso de cocción tradicional hasta la temperatura de 180 °C a temperatura ambiente, pero este incrementa a medida en la que aumenta la temperatura del agua que se agrega por lo que, a 50 °C el IAA es similar en las harinas de frijol extrudidas a partir de los 160 °C, y con el agua a 80 °C todas las harinas de extrusión presentan un índice similar al de cocción tradicional. Estos resultados coinciden con los reportado por Ramírez-Jiménez *et al.* (2014), con valores entre 2.64 a 3.73 g de agua por g muestra de harina de frijol negro y bayo obtenidas por cocción tradicional.

En el caso del garbanzo, también existe un aumento de un 36% con la cocción tradicional en comparación con el crudo. No existen diferencias entre las harinas de cocción tradicional y las extrudidas con el agua a temperatura ambiente (25 °C), sin embargo, a medida que aumenta la temperatura del agua, la harina de cocción tradicional presenta un mayor aumento del IAA. Los resultados coinciden con los reportados por Milán-Carrillo *et al.*, (2000), donde obtuvieron rangos de 2.32 – 3.27 g/g para harinas de garbanzo extrudido.

Para las harinas de soya, se observa un aumento significativo ($p < 0.05$) de las harinas de cocción tradicional y el crudo. Sin embargo, no existen diferencias entre las harinas de cocción tradicional y extrudidas (25 y 50 °C), lo que nos indica que la cocción por extrusión es efectiva para obtener un IAA óptimo en la soya. Estos resultados son similares a los reportados por Suksomboon *et al.* (2010), que obtuvieron rangos de 3.39 – 3.97 g/g en este índice para productos extrudidos de harinas de arroz jazmín negro y soya, a temperaturas de extrusión 150 – 190 °C y humedades de 15 - 19%

Cuadro 11. Índice de absorción de agua de las harinas de leguminosas obtenidas por los diferentes tratamientos

Leguminosa	Tratamiento	Índice de absorción de agua (g/g)		
		25 °C	50 °C	80 °C
Frijol	Crudo	2.81 ± 0.02 ^{bc}	2.53 ± 0.02 ^c	3.51 ± 0.16 ^b
	HCT	3.21 ± 0.05 ^a	3.42 ± 0.15 ^a	4.22 ± 0.10 ^a
	E140	2.75 ± 0.08 ^c	2.99 ± 0.10 ^b	3.86 ± 0.13 ^{ab}
	E160	2.92 ± 0.12 ^{bc}	3.07 ± 0.04 ^{ab}	4.07 ± 0.07 ^a
	E180	3.05 ± 0.01 ^{ab}	3.13 ± 0.14 ^{ab}	4.18 ± 0.01 ^a
Garbanzo	Crudo	2.54 ± 0.05 ^b	2.42 ± 0.02 ^c	4.50 ± 0.09 ^b
	HCT	3.46 ± 0.11 ^a	3.83 ± 0.09 ^a	4.87 ± 0.07 ^a
	E140	3.23 ± 0.07 ^a	3.40 ± 0.11 ^b	3.52 ± 0.06 ^d
	E160	3.21 ± 0.10 ^a	3.51 ± 0.02 ^b	3.77 ± 0.01 ^{cd}
	E180	3.45 ± 0.08 ^a	3.80 ± 0.01 ^a	3.87 ± 0.06 ^c
Soya	Crudo	2.71 ± 0.08 ^b	2.59 ± 0.00 ^b	3.27 ± 0.02 ^b
	HCT	3.12 ± 0.01 ^a	3.34 ± 0.09 ^a	3.53 ± 0.01 ^a
	E140	3.09 ± 0.05 ^a	3.28 ± 0.07 ^a	3.25 ± 0.09 ^b
	E160	3.02 ± 0.02 ^a	3.30 ± 0.07 ^a	3.24 ± 0.19 ^b
	E180	3.01 ± 0.13 ^a	3.21 ± 0.06 ^a	3.20 ± 0.18 ^b

Los resultados muestran promedio de dos réplicas ± desviación estándar. Letras distintas en la misma columna de la misma leguminosa, indican diferencias significativas ($p < 0.05$). HCT: harina de cocción tradicional, E140: extrusión a 140 °C, E160: extrusión a 160 °C, E180: extrusión a 180 °C.

Esta propiedad es fundamental en alimentos viscosos como sopas, salsas o alimentos horneados, donde se requiere una interacción proteína-agua (Marquezi *et al.*, 2016), por lo que las harinas de frijol extrudido a 180°C, las harinas de garbanzo extrudido (140 – 180 °C) y las harinas extrudidas de soya (140 – 180 °C) las que presentan con un porcentaje similar al de cocción tradicional.

5.2.6 Índice de solubilidad en agua de harinas

El índice de solubilidad en agua (ISA) indica la cantidad de sólidos disueltos cuando una muestra de harina se somete a un exceso de este líquido, además indica el grado de cocción del grano con el que se preparó la harina (Cerón-Fernández *et al.*, 2016). En la literatura no se ha reportado el efecto de la temperatura para determinar el ISA, realizándose la prueba a temperatura ambiente (25 °C). Se realizó la prueba a tres diferentes temperaturas de solubilización (25, 50 y 80 °C) para inferir el

comportamiento de las harinas al ser incorporadas en alimentos que son procesados a diferentes temperaturas como postres, botanas, yogurts, etc.

Se presentó una reducción importante del ISA de la harina de cocción tradicional en las tres leguminosas, en las tres temperaturas evaluadas (25, 50 y 80 °C) como se observa en el Cuadro 12. En general, la extrusión presentó un ISA mayor en las tres leguminosas en las tres temperaturas de solubilización, siendo la soya la que presentó el mayor porcentaje (16.30 – 20.54%). Las diferencias en el ISA de los productos extrudidos y la harina de cocción tradicional pueden estar relacionadas a los componentes de menor peso molecular; estos pueden separarse con facilidad cuando en el procesamiento las condiciones son más severas, como en la cocción tradicional, desintegrando los gránulos de almidón (Yağcı & Göğüş, 2008), donde estos compuestos se perdieron en mayor parte en el agua de cocción de la harina por proceso tradicional. Esto coincide con los resultados de capacidad de gelificación, donde las harinas de proceso tradicional mostraron poca capacidad de gelificar debido a la poca solubilidad que presenta la proteína.

En la harina de frijol extrudido se obtuvieron valores de 9.57 – 12.41% que, al comparar estos resultados con los de Balandrán Quintana *et al.*, (1998) donde utilizaron las mismas temperaturas de extrusión (140, 160 y 180 °C) con humedades de 18 – 22% en frijol pinto, se obtuvo un mayor rango de ISA con valores de 17.2 a 23.5%, donde el porcentaje aumentó conforme al aumento en la temperatura de extrusión.

Rodríguez-Miranda *et al.* (2014) reportaron una solubilidad en extrudidos de frijol de 8.25 – 11.45%, donde se utilizaron temperaturas de extrusión de 120 y 150 °C y humedades de 18 y 22%, observando que estos factores pueden afectar esta propiedad, disminuyendo el ISA cuando aumenta la humedad y aumentando su porcentaje con el incremento de temperatura de extrusión. Se interpreta que, en el presente estudio el incremento de la temperatura de extrusión no tiene un impacto en el ISA al tener una alta humedad (50%).

Cuadro 12. Índice de solubilidad de las harinas de leguminosas obtenidas por los diferentes tratamientos

Leguminosa	Tratamiento	Índice de solubilidad (%)		
		25 °C	50 °C	80 °C
Frijol	Crudo	16.89 ± 0.70 ^a	19.65 ± 0.36 ^a	15.36 ± 0.95 ^a
	HCT	8.07 ± 0.35 ^c	8.40 ± 0.67 ^d	7.71 ± 0.54 ^c
	E140	11.58 ± 0.19 ^b	12.20 ± 0.22 ^{bc}	11.34 ± 0.68 ^b
	E160	11.08 ± 0.03 ^b	10.79 ± 0.00 ^c	9.57 ± 0.18 ^{bc}
	E180	12.41 ± 0.19 ^b	12.41 ± 0.02 ^b	11.35 ± 0.11 ^b
Garbanzo	Crudo	15.94 ± 0.45 ^a	17.72 ± 0.96 ^a	13.93 ± 1.61 ^a
	HCT	5.48 ± 1.33 ^c	6.15 ± 0.07 ^c	6.05 ± 0.92 ^b
	E140	10.38 ± 0.27 ^b	11.88 ± 1.09 ^b	11.72 ± 0.81 ^a
	E160	12.01 ± 1.21 ^b	11.57 ± 0.10 ^b	11.68 ± 0.31 ^a
	E180	11.38 ± 0.03 ^b	12.46 ± 1.55 ^b	12.21 ± 0.52 ^a
Soya	Crudo	25.74 ± 1.67 ^a	30.49 ± 0.21 ^a	29.42 ± 0.44 ^a
	HCT	8.78 ± 0.48 ^c	11.24 ± 1.22 ^c	15.85 ± 0.09 ^c
	E140	16.30 ± 1.46 ^b	20.01 ± 0.65 ^b	20.37 ± 1.03 ^b
	E160	17.97 ± 0.29 ^b	20.54 ± 0.28 ^b	20.38 ± 0.76 ^b
	E180	18.67 ± 0.18 ^b	18.29 ± 0.19 ^b	19.85 ± 0.87 ^b

Los resultados muestran promedio de dos réplicas ± desviación estándar. Letras distintas en la misma columna de la misma leguminosa, indican diferencias significativas ($p < 0.05$). HCT: harina de cocción tradicional, E140: extrusión a 140 °C, E160: extrusión a 160 °C, E180: extrusión a 180 °C.

En el garbanzo se obtuvieron valores de 5.48 - 6.15 en cocción tradicional y de 10.38 - 12.46% en las harinas extrudidas; estos valores difieren con los reportados por Milán-Carrillo *et al.* (2000), donde obtuvieron valores de solubilidad para harinas de cocción tradicional de 27.5 - 30.8 g/g y para harinas de garbanzo extrudidas de 20.1 - 26.1 g/g, utilizando una semilla con un 5.01 - 5.28% de lípidos. Gujska & Khan (1990), reportaron que el alto contenido de lípidos en la semilla de garbanzo dificultaba la absorción y la solubilidad de agua. La semilla de garbanzo utilizada en el presente trabajo presenta un contenido de lípidos arriba del 7% (Cuadro 8), lo que puede estar afectando este parámetro.

El porcentaje obtenido en el ISA en las harinas extrudidas de soya fue del 16.30 – 20.54% que coincide con el porcentaje reportado por Heywood *et al.* (2002), para extrudidos de soya con una solubilidad del 15% en la proteína de harina de soya

baja en grasa, donde el pH tuvo influencia, disminuyendo mientras más se acerca al punto isoeléctrico (pI 4.5).

El ISA de extrudidos a baja humedad se puede encontrar dentro de un 16 a un 46% en alimentos con alto contenido de almidón, como por ejemplo el maíz, y de un 11 a un 35% en extrudidos con un bajo contenido de almidón y un alto contenido de proteína, como el frijol (Rodríguez-Miranda *et al.*, 2014). La extrusión en las tres temperaturas (140, 160 y 180 °C) con 50% de humedad, no modificó esta propiedad, donde las tres leguminosas se encuentran dentro de los rangos reportados.

Las proteínas de leguminosas se caracterizan por tener un contenido elevado de aminoácidos polares con cargas opuestas (por un lado, ácido glutámico y aspártico, y por el otro lisina y arginina), lo que promueve el fenómeno de asociación y disociación, que define la propiedad de solubilidad. En el caso de las harinas de cocción tradicional, al pasar por un proceso térmico prolongado pueden sufrir la desprotonación de los aminoácidos arginina y lisina que conduce a la agregación de la proteína; por lo que el proceso térmico reducirá la solubilidad de las proteínas, afectando sus aplicaciones en las formulaciones alimentarias e influenciando también en la digestibilidad proteica en las leguminosas (Carbonaro *et al.*, 1997).

5.2.7 Capacidad emulsificante

La capacidad emulsionante es la cantidad máxima de aceite emulsionado por una cantidad de proteína expresado en porcentaje, hasta la inversión de fases. Se relaciona con área interfacial que puede cubrir la proteína (Aguilar & Veléz, 2013).

En las tres semillas no se obtuvieron diferencias significativas ($p < 0.05$) de las harinas obtenidas por extrusión en comparación con las harinas de cocción tradicional en ninguno de los pH evaluados (Cuadro 13). El pH no parece tener impacto en la capacidad emulsificante de las harinas, sin embargo, en las harinas extrudidas de frijol y soya se obtuvieron emulsiones más sólidas en estos pH en comparación con las harinas tradicionales.

Las harinas de garbanzo presentaron emulsiones líquidas y con poca estabilidad en los pH evaluados (3 – 9), esto atribuido a su alto contenido de lípidos. De acuerdo con Patel & Kilara (1990), el alto contenido de lípidos altera las propiedades de emulsificación, debido a una alteración en el equilibrio hidrofílico y lipofílico de las proteínas causada por la grasa unida.

Cuadro 13. Capacidad emulsificante de las harinas de leguminosas obtenidas por los diferentes tratamientos

Leguminosa	Tratamiento	Capacidad emulsificante (%)			
		pH 3	pH 5	pH 7	pH 9
Frijol	Crudo	71.88 ± 1.46 ^a	68.21 ± 0.90 ^a	72.84 ± 0.48 ^a	70.63 ± 1.83 ^a
	HCT	56.31 ± 0.33 ^b	55.00 ± 0.11 ^b	53.53 ± 1.46 ^b	54.75 ± 1.01 ^b
	E140	52.28 ± 1.54 ^b	53.20 ± 0.80 ^b	51.67 ± 1.43 ^b	52.99 ± 0.98 ^b
	E160	52.56 ± 1.46 ^b	53.55 ± 0.24 ^b	51.73 ± 1.95 ^b	52.56 ± 1.80 ^b
	E180	54.11 ± 1.59 ^b	54.45 ± 0.88 ^b	55.70 ± 1.96 ^b	55.45 ± 0.64 ^b
Garbanzo	Crudo	57.79 ± 0.72 ^a	54.21 ± 2.82 ^a	58.80 ± 0.82 ^a	57.18 ± 0.11 ^a
	HCT	48.61 ± 0.96 ^b	50.17 ± 1.38 ^a	50.14 ± 0.45 ^b	51.15 ± 1.21 ^b
	E140	49.24 ± 1.00 ^b	49.16 ± 1.02 ^a	50.36 ± 1.49 ^b	48.88 ± 0.65 ^b
	E160	49.99 ± 0.99 ^b	50.09 ± 0.54 ^a	53.18 ± 1.11 ^b	50.14 ± 0.20 ^b
	E180	50.69 ± 1.96 ^b	49.77 ± 0.41 ^a	52.53 ± 0.23 ^b	50.24 ± 0.17 ^b
Soya	Crudo	70.43 ± 1.29 ^a	69.61 ± 1.37 ^a	79.02 ± 1.86 ^a	72.18 ± 1.92 ^a
	HCT	52.04 ± 0.90 ^b	52.70 ± 0.39 ^b	51.19 ± 0.15 ^b	52.55 ± 0.19 ^b
	E140	51.65 ± 0.17 ^b	54.28 ± 0.68 ^b	52.68 ± 0.99 ^b	54.71 ± 1.21 ^b
	E160	51.60 ± 0.06 ^b	52.12 ± 0.34 ^b	52.67 ± 0.71 ^b	53.02 ± 1.95 ^b
	E180	53.64 ± 1.75 ^b	53.31 ± 0.40 ^b	54.03 ± 0.20 ^b	54.85 ± 0.65 ^b

Los resultados muestran promedio de dos réplicas ± desviación estándar. Letras distintas en la misma columna de la misma leguminosa, indican diferencias significativas ($p < 0.05$). HCT: harina de cocción tradicional, E140: extrusión a 140 °C, E160: extrusión a 160 °C, E180: extrusión a 180 °C.

Los porcentajes de emulsificación de las harinas extrudidas de frijol coinciden con lo reportado por Alfaro-Díaz *et al.* (2021) que reportaron rangos de 50 - 90% en concentrados de proteína de frijol negro extrudido usando temperaturas de extrusión de 90 a 120 °C (pH 3 - 7). Los valores de capacidad emulsificante en las harinas de garbanzo extrudidas son mayores a los reportados por Gujska & Khan (1990) con una capacidad del 21.7 - 22.4% en extrudidos de garbanzo, usando temperaturas de extrusión 110 - 132 °C, lo que indica que al usar altas humedades

en el proceso de extrusión se tiene un menor daño en estas proteínas, lo que no afecta su capacidad de emulsificación. En la soya, los porcentajes obtenidos en las harinas extrudidas coinciden con los resultados de Volkert & Klein (1979), donde las capacidades de emulsificación del aislado de soya, no se vieron afectadas por el pH obteniendo valores de 57-61%.

Las harinas mostraron una disminución significativa ($p < 0.05$) en todos los tratamientos en comparación con la harina cruda, ya que la capacidad emulsionante es una propiedad sensible a los tratamientos térmicos, provocando marcadas reducciones en las harinas de leguminosas procesadas (Singh, 2001).

La prueba se realizó en diferentes pH ya que las propiedades emulsionantes disminuyen en el pH isoeléctrico de las proteínas y aumentan con el aumento del pH (Kinsella, 1976); sin embargo, el pH no parece tener un efecto en ninguna de las harinas tratadas, por lo que se pueden añadir en distintos alimentos sin presentar cambios en esta propiedad y al poseer una alta capacidad de formar emulsiones ($\approx 50\%$) podrán utilizarse en la fabricación alimentos como mayonesas, aderezos y embutidos.

5.2.8 Viscosidad

En la Figura 22 se muestra el perfil de viscosidad de las harinas de leguminosas sometidas a los diferentes procesos. En el caso de la harina de frijol (Figura 22a), se observa que existen diferencias en la viscosidad entre las harinas extrudidas y el control de cocción tradicional, presentando una disminución de la viscosidad de las harinas de cocción tradicional del frijol. Este resultado es congruente con los bajos valores de solubilidad presentados previamente, debido a que las altas temperaturas disminuyen la solubilidad en componentes como el almidón y las proteínas (Rodríguez Miranda *et al.*, 2014), sumado a los componentes solubles que se perdieron en el agua de cocción. Las harinas de frijol extrudidas mostraron un aumento gradual de la viscosidad con el aumento de la temperatura de extrusión, coincidiendo con una mayor capacidad gelificante y una mayor viscosidad, en comparación con el control de cocción tradicional.

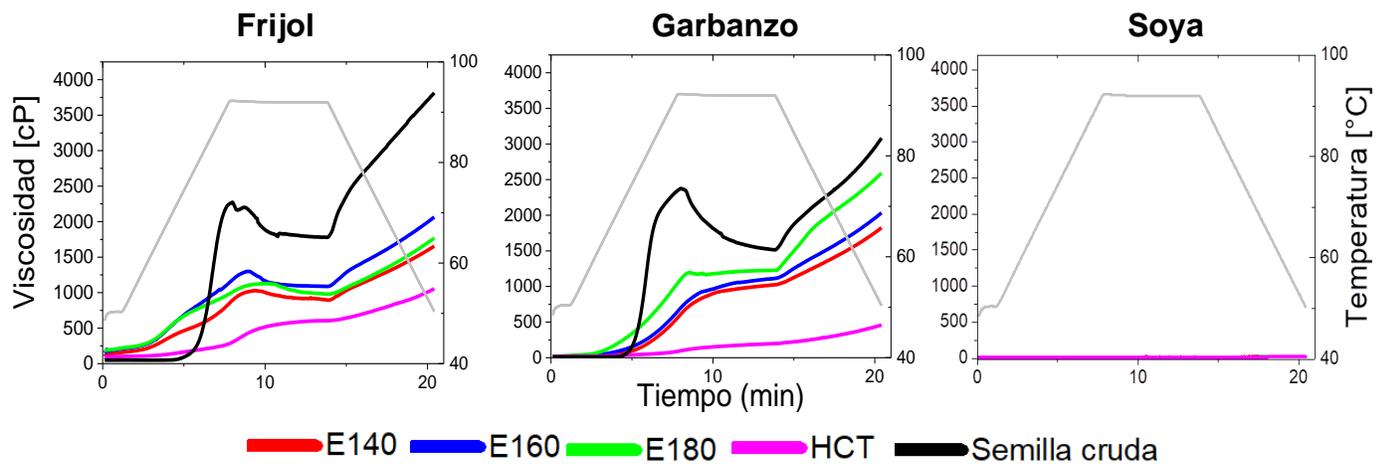


Figura 22. Perfil de viscosidad de las harinas de leguminosas sometidas a los diferentes procesos.

HCT: harina de cocción tradicional, E140: extrusión a 140 °C, E160: extrusión a 160 °C, E180: extrusión a 180 °C.

Para el caso del garbanzo también se observaron diferencias en la viscosidad entre las harinas extrudidas con el control de cocción tradicional. La temperatura de extrusión aumentó el perfil de viscosidad a medida que la temperatura de procesamiento aumentó. Lo anterior, coincide con una mejor capacidad de gelificación, por lo que las harinas de frijol y garbanzo podrían emplearse en la preparación de diversos alimentos que requieren una viscosidad máxima (como sopas, pasteles, salsas, botanas, etc.) indicándonos durante el ciclo de calentamiento qué tan alta o baja podría ser la viscosidad de la muestra durante su cocción (Marquezi *et al.*, 2016).

En la soya, tanto las harinas como en el crudo presentan un perfil muy bajo de viscosidad muestras (Anexo 13), lo que se relaciona con su capacidad de formar geles, donde en ninguna de las concentraciones se formó gel en pH 7. Lo anterior podría ser atribuido a la composición de la soya que, debido al tipo de proteínas que contiene necesita de un agente coagulante para disminuir las fuerzas repulsivas de la proteína que impiden la formación de la red (Nishinari *et al.*, 2014).

The increase in feed moisture content at the same extrusion temperature reduced the degree of starch conversion (Kokini et al., 1992) and increased the apparent density values (Thymi et al., 2005). Ding et al. (2006) investigated the effect of extrusion conditions on the functional and physical properties of wheat-based expanded snacks.

During the extrusion process, the dough viscosity, elastic swell effect and bubble growth effect contribute to the structure change of the extrusion mix. The degree of starch gelatinization and extrudate expansion was found to be reduced as the feed moisture increased.

5.3 Cuantificación de factores antinutricios

5.3.1 Cuantificación de lectinas

Los compuestos antinutricios son moléculas que se encuentran en las leguminosas e interrumpen el proceso de digestión cuando las especies monogástricas consumen crudas las semillas o la harina. Dentro de los compuestos antinutricios proteicos presentes en las leguminosas se encuentran las lectinas o aglutininas (Roy *et al.*, 2010). Estas proteínas poseen al menos un dominio no catalítico que se une de forma reversible a un mono u oligosacárido específico causando efectos secundarios como diarrea, distensión abdominal, vómitos y aglutinación de glóbulos rojos; además se ha reportado la supresión del crecimiento en niños (Liener *et al.*, 2002).

En las harinas de frijol, la extrusión redujo hasta un 93% el contenido de lectinas, en la soya la extrusión lo redujo un 99% y en el garbanzo inactivó completamente su poder aglutinante (Cuadro 14); se ha reportado en diversas literaturas que el contenido de lectinas disminuye más del 90% con la cocción por extrusión en leguminosas (Arribas *et al.*, 2019; Ciudad-Mulero *et al.*, 2020; Morales *et al.*, 2015; Shi *et al.*, 2018; Singh, 1988) aumentando también la digestibilidad *in vitro* e *in vivo* de las harinas extrudidas (Milan-Carrillo *et al.*, 2000). En la harina de frijol, la temperatura de 180 °C fue la que presentó un contenido menor a las harinas de cocción tradicional; en el garbanzo a partir de los 140 °C se pueden obtener harinas

libres de lectinas, y en la soya a partir de la temperatura de extrusión de 160 °C se obtienen harinas sin diferencias significativas ($p < 0.05$) con la cocción tradicional.

Cuadro 14. Contenido de lectinas

Lectinas (UH/mg)			
Tratamiento	Frijol	Garbanzo	Soya
Crudo	551.72 ± 0.00 ^a	88.08 ± 1.50 ^a	4980.41 ± 68.51 ^a
HCT	8.09 ± 0.10 ^c	10.27 ± 0.16 ^b	1.09 ± 0.00 ^b
E140	38.04 ± 0.59 ^b	ND	20.55 ± 0.15 ^b
E160	38.07 ± 0.50 ^b	ND	5.14 ± 0.04 ^b
E180	2.38 ± 0.04 ^d	ND	5.14 ± 0.04 ^b

Los resultados muestran promedio de dos réplicas ± desviación estándar. Letras distintas en la misma columna, indican diferencias significativas ($p < 0.05$). UH: Unidades de hemaglutinación. HCT: harina de cocción tradicional, E140: extrusión a 140 °C, E160: extrusión a 160 °C, E180: extrusión a 180 °C. ND: No detectable.

Se siguen realizando investigaciones sobre las lectinas de leguminosas ya que tienen propiedades anticarcinogénicas, ya que estimulan el sistema inmunológico; se unen a las membranas de las células tumorales, reducen la proliferación celular e inducen la apoptosis. Estos beneficios se obtienen en concentraciones de 20 a 100 $\mu\text{g/mL}$, e incluso a una concentración alta de 600 $\mu\text{g/mL}$ no se encontró ningún efecto tóxico en células mononucleares de sangre humana (Kumar-Gautam *et al.*, 2019). En otro estudio realizado en ratas se encontró que dosis de 50 mg/kg de peso, podrían tener efecto para iniciar estudios contra cáncer (López-Sánchez *et al.*, 2010), por esto la terapia basada en péptidos derivados de leguminosas podría desempeñar un papel importante en la industria farmacéutica y nutracéutica y reducir el riesgo de cáncer.

5.3.2 Cuantificación de inhibidores de tripsina

Al igual que las lectinas, los inhibidores de la proteasa son proteínas que se encuentran en las leguminosas y se considera un parámetro importante para determinar la calidad de los alimentos. Los inhibidores de la proteasa son resistentes a la pepsina y al pH ácido del tracto digestivo humano, llegando a interferir con la digestión al inhibir la tripsina y la quimotripsina, lo que disminuye el

crecimiento y rendimiento debido a la capacidad reducida de disminuye la absorción de aminoácidos y la síntesis de proteínas de novo (Guillamon *et al.*, 2008).

Además, propiedades funcionales como la formación de gel, la capacidad de retención de agua y la formación de espuma de los productos se ven afectadas negativamente por los inhibidores de la proteasa de las semillas de leguminosas (García-Cerreno, 1996).

Se obtuvieron reducciones significativas en las tres semillas, donde la extrusión a 160 °C no se detectó presencia de inhibidores de tripsina en el caso de las harinas de frijol y de garbanzo (Cuadro 15); sin embargo, en el garbanzo a partir de la temperatura de extrusión de 140 °C se obtiene una cantidad similar al de la cocción tradicional. Se ha reportado en diversos estudios que la cocción por extrusión puede reducir hasta el 100% de los inhibidores de tripsina en leguminosas (Clarke & Wiseman, 2007; Leeson & Atteh, 1996; Rivas-Vega, 2006) debido a la naturaleza termolábil de estas proteínas que se inactivan con la presión y temperatura del proceso (Fennema, 1996).

Cuadro 15. Contenido de inhibidores de tripsina

Inhibidores de tripsina (UTI/mg)			
Tratamiento	Frijol	Garbanzo	Soya
Crudo	14.45 ± 0.00 ^a	6.42 ± 0.05 ^a	21.85 ± 0.27 ^a
HCT	0.66 ± 0.05 ^c	0.75 ± 0.05 ^b	1.00 ± 0.01 ^c
E140	0.96 ± 0.07 ^b	0.63 ± 0.11 ^b	4.99 ± 0.25 ^b
E160	ND	ND	1.43 ± 0.55 ^c
E180	ND	ND	0.88 ± 0.15 ^c

Los resultados muestran promedio de tres réplicas ± desviación estándar. Letras distintas en la misma columna, indican diferencias significativas ($p < 0.05$). UTI: Unidades de tripsina inhibida. HCT: harina de cocción tradicional, E140: extrusión a 140 °C, E160: extrusión a 160 °C, E180: extrusión a 180 °C. ND: No detectable.

En la soya extrudida a 140 °C, la cantidad de inhibidores de tripsina se consideran altos, siendo que se consideran productos de calidad cuando presentan una cantidad menor a 4 UTI/mg ya que esta dosis no afecta al crecimiento de los animales, ni produce daños fisiológicos (Zhang & Parsons, 1993). La harina de soya

extrudida a 160 °C entra dentro de estos parámetros, y se asimila a la cantidad que presenta la cocción tradicional.

De acuerdo con Riaz (2000) se necesitan temperaturas de 138 – 154 °C para para alcanzar la inactivación completa de inhibidores de tripsina durante el proceso de extrusión de la soya.

Estas bajas cantidades de inhibidores de tripsina pueden presentar beneficios en la salud, ya que se ha demostrado que estas proteínas en su forma desnaturalizada obtienen beneficios a la salud por su potencial como agente antiinflamatorio (Kennedy, 1993).

5.3.3 Cuantificación de ácido fítico

El ácido fítico (ácido mioinositol hexafosfórico) es una sustancia que está presente en los tejidos de las plantas y funciona como fuente de nutrientes minerales e inositol para utilizarse durante la germinación (Singh *et al.*, 2007). Es capaz de formar complejos con minerales esenciales y proteínas, lo que disminuye su biodisponibilidad (Elizalde *et al.*, 2009). Al afectar la solubilidad de la proteína, también se pueden ver afectadas diversas propiedades funcionales son dependientes de su hidratación y solubilidad como viscosidad, gelificación, capacidad emulsionante y formación de espuma (Urbano *et al.*, 2000).

En las leguminosas se reportan rangos alrededor de 1% de ácido fítico (Martínez-Domínguez *et al.*, 2002). Se obtuvieron rangos de 0.61 a 0.85% de ácido fítico en las leguminosas crudas evaluadas en este estudio (Cuadro 16); en el frijol, ninguno de los tratamientos tuvo un efecto significativo ($p < 0.05$) en el porcentaje de ácido fítico. El proceso de cocción tradicional solo tuvo un efecto significativo ($p < 0.05$) en el garbanzo y la soya, reduciendo 21% y 18%, respectivamente. La extrusión no tuvo efecto en la semilla de garbanzo, pero en la soya fue capaz de reducir su contenido a partir de la temperatura de 160 °C; pese a esto, los porcentajes se encuentran en el mismo rango que el frijol y el garbanzo.

Se ha reportado que la extrusión reduce efectivamente los niveles de fitato en la harina de trigo, pero no en las leguminosas (Singh *et al.*, 2007). De acuerdo con Sarwar-Gilani *et al.* (2012) se informó que la extrusión a temperatura de 150 °C y bajo contenido de humedad (20%) es capaz de reducir aproximadamente un 20 - 30% el contenido de ácido fítico en frijol común.

Diversos estudios informan que cantidades de 0.02 a 1% de fitatos pueden presentar efectos positivos en la salud humana favoreciendo la absorción intestinal de minerales, disminuyendo el índice glicémico y previniendo el cáncer de colon; además pueden actuar como antioxidantes inhibiendo la peroxidasa y previniendo la formación de cálculos renales (Dilworth *et al.*, 2005; Elizalde *et al.*, 2009; Lee *et al.*, 2005).

Cuadro 16. Contenido de ácido fítico

Ácido fítico (%)			
Tratamiento	Frijol	Garbanzo	Soya
Crudo	0.61 ± 0.02 ^a	0.76 ± 0.02 ^a	0.85 ± 0.03 ^a
HCT	0.59 ± 0.02 ^a	0.60 ± 0.02 ^b	0.70 ± 0.06 ^b
E140	0.61 ± 0.02 ^a	0.74 ± 0.02 ^a	0.86 ± 0.07 ^a
E160	0.60 ± 0.00 ^a	0.69 ± 0.06 ^a	0.73 ± 0.03 ^b
E180	0.59 ± 0.05 ^a	0.69 ± 0.03 ^a	0.69 ± 0.02 ^b

Los resultados muestran promedio de tres réplicas ± desviación estándar. Letras distintas en la misma columna, indican diferencias significativas ($p < 0.05$). HCT: harina de cocción tradicional, E140: extrusión a 140 °C, E160: extrusión a 160 °C, E180: extrusión a 180 °C. ND: No detectable.

5.3.4 Cuantificación de taninos condensados

Los compuestos polifenólicos son sustancias ampliamente distribuidas en las plantas, estos tienen un amplio peso molecular que habitualmente se dividen en taninos hidrolizables y taninos condensados. Estos son capaces de unirse a compuestos enzimas, proteínas, polisacáridos, ácidos nucleicos y formar complejos con el hierro del alimento, dificultando la digestión de los nutrientes. Aunque hay diferencias químicas entre estos compuestos, todos pueden precipitar la proteína. La capacidad de los taninos de ligar proteínas se ha considerado como un

mecanismo importante para predecir sus efectos en sistemas biológicos (Elizalde *et al.*, 2009).

En el frijol, la cocción tradicional fue capaz de reducir un 29% del total de taninos en la semilla (Cuadro 17); la cocción en el garbanzo fue efectiva hasta un 46%. En cambio, el proceso de extrusión fue capaz de reducir un 26% el contenido de taninos en el frijol, siendo la temperatura de 160 °C donde se obtuvo un contenido similar al de cocción tradicional. En el garbanzo, la extrusión pudo reducir hasta el 40% de taninos en la semilla, donde la temperatura de extrusión de 180 °C fue la que obtuvo un contenido semejante al del proceso tradicional. Se ha reportado que el proceso de extrusión puede reducir de 31 a 76% el contenido de taninos condensados en leguminosas (Ummadi *et al.*, 1995), alcanzando los porcentajes más altos a partir de los 130 °C en extrusión a baja humedad. La disminución en el contenido de taninos por la extrusión puede atribuirse a que estos factores antinutricionales son de naturaleza termolábil por lo que su contenido disminuye mediante el proceso termo-mecánico (Nikmaram *et al.*, 2017) o a la interacción de estos compuestos con otras moléculas (proteínas, carbohidratos, minerales) dificultando su extracción (Ummadi *et al.*, 1995). Sin embargo, al realizar la extrusión a baja humedad, se reduce la cizalla dentro del extrusor reduciendo el efecto termo-mecánico.

Cuadro 17. Contenido de taninos condensados

Taninos (mg eq. catequina/g)			
Tratamiento	Frijol	Garbanzo	Soya
Crudo	26.08 ± 3.24 ^a	16.22 ± 3.06 ^a	NDT
HCT	18.54 ± 1.95 ^b	8.72 ± 0.82 ^b	NDT
E140	21.41 ± 2.84 ^{ab}	15.40 ± 1.55 ^a	NDT
E160	19.64 ± 2.55 ^b	12.61 ± 2.91 ^{ab}	NDT
E180	19.21 ± 1.59 ^b	9.74 ± 1.26 ^b	NDT

Los resultados muestran promedio de tres réplicas ± desviación estándar. Letras distintas en la misma columna, indican diferencias significativas ($p < 0.05$). mg eq. catequina: mg de equivalentes de catequina. HCT: harina de cocción tradicional, E140: extrusión a 140 °C, E160: extrusión a 160 °C, E180: extrusión a 180 °C. NDT: No determinado.

En el caso de la semilla de soya, este compuesto no pudo determinarse, pero de acuerdo con la literatura esta semilla puede presentar hasta 17.41 mg/g de acuerdo con la variedad (Zhang *et al.*, 2011).

Se han reportado diversos mecanismos benéficos de los taninos condensados como antioxidante, anticancerígeno, antimicrobiano, cardioprotector, antidiabético, y antiobesogénico (Smeriglio *et al.*, 2017) y para obtener estos beneficios se deben de encontrar en concentraciones de 2-4% de la materia seca (Márquez-Lara & Suárez-Londoño, 2008).

5.4 Digestibilidad *in vitro* de proteínas

El porcentaje de digestibilidad *in vitro* es un indicador de la calidad nutricional de las proteínas y está asociado a las estructuras terciarias y cuaternarias, que presentan menor susceptibilidad a las enzimas proteolíticas (Deshpande & Damodaran, 1990). Se ha atribuido el bajo valor nutricional a las proteínas de las leguminosas al efecto de los compuestos antinutricionales, además de la cantidad limitada de aminoácidos esenciales como metionina y cisteína. Por lo tanto, tratamientos como la cocción producen el aumento en la digestibilidad de las proteínas debido a la desnaturalización proteica y a la inactivación de inhibidores de proteasa (Carbonaro *et al.*, 1997). Los resultados de digestibilidad *in vitro* de proteínas de la semilla y harinas de las leguminosas evaluadas se muestran en el siguiente cuadro:

Cuadro 18. Digestibilidad *in vitro* de proteínas

Digestibilidad (%)			
Tratamiento	Frijol	Garbanzo	Soya
Crudo	73.49 ± 0.13 ^b	75.78 ± 0.00 ^a	74.68 ± 0.26 ^b
HCT	77.51 ± 1.17 ^a	77.24 ± 1.04 ^a	79.25 ± 0.26 ^a
E180	73.76 ± 0.78 ^b	74.95 ± 0.90 ^a	75.32 ± 0.13 ^b

Los resultados muestran promedio de tres réplicas ± desviación estándar. Letras distintas en la misma columna, indican diferencias significativas ($p < 0.05$). HCT: harina de cocción tradicional, E180: extrusión a 180 °C.

La digestibilidad *in vitro* del frijol crudo se encuentra dentro de los rangos reportados por Shimelis & Rakshit (2007), en diferentes variedades para esta semilla (65.63-80.66%). Se observa un aumento del 4% del porcentaje de digestibilidad en la harina de cocción tradicional, atribuido principalmente a la disminución de factores antinutricios como lectinas (Cuadro 14) e inhibidores de tripsina (Cuadro 15) que, debido a su naturaleza sensible al calor, se redujeron significativamente mediante el calentamiento. Generalmente, la digestibilidad *in vitro* de las proteínas también aumenta con la cocción por extrusión, sin embargo, al evaluarse la temperatura más alta de extrusión de 180 °C, presentó una menor digestibilidad que la harina de cocción tradicional; al utilizar altas temperaturas en la extrusión se puede producir la formación de agregados proteicos a través de enlaces de hidrógeno, interacciones hidrofóbicas y enlaces disulfuro. Además, se pueden formar complejos de Maillard, afectando la biodisponibilidad del aminoácido lisina, debido a la presencia de dos grupos amino disponibles (Pasqualone *et al.*, 2020). A pesar de esto, se puede comprobar que la digestibilidad de la proteína de las harinas extrudidas no se verá comprometidas al realizar el proceso de extrusión en altas temperaturas (180 °C) en una alta humedad (50%) al no presentar variaciones en la harina extrudida en comparación con la semilla de frijol crudo, por lo que se justifica su uso como ingrediente en productos como de panificación o repostería, ya que cuentan con mejores propiedades de capacidad emulsificante y viscosidad que las harinas de cocción tradicional.

En el caso de la semilla de garbanzo, se obtuvo una digestibilidad del 75.78% en el garbanzo crudo, sin mostrar diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las harinas de cocción tradicional y extrudida; esto corresponde con los porcentajes reportados para las harinas de estas semillas 75.2 – 78.26% (Betancur-Ancona *et al.*, 2004; Carbonaro *et al.*, 1997). Al contrario de las demás leguminosas, las semillas de garbanzo presentan niveles más bajos de inhibidores de proteasa, así como otros factores antinutricionales; por lo que los tratamientos térmicos no producen un cambio significativo en la digestibilidad de proteínas. Al igual que la harina de frijol

extrudido, la harina de garbanzo extrudida promete ser un ingrediente potencial para la creación de productos basados en leguminosas, que incluso puedan ser de consumo instantáneo debido a su bajo contenido de compuestos antinutricios.

En cuanto a la semilla de soya se obtuvo una digestibilidad en la semilla menor a lo reportado por Espinosa-Martos & Rupérez, (2009) donde obtuvieron un porcentaje de 91.8% en la semilla de soya. Según Ambawat & Khetarpaul (2018), la baja calidad nutricional de la soya se debe principalmente a su cantidad de factores antinutricionales. En la harina de cocción tradicional de esta semilla, se observa un aumento de casi 5% en la digestibilidad, atribuido no solo a la reducción de los compuestos antinutricios, sino también a la desnaturalización de las proteínas inducida por el calor, que podría indicar una mayor accesibilidad de sitios susceptibles a la proteólisis (Carbonaro *et al.*, 1997). En la harina extrudida de soya, se obtuvo un porcentaje similar a la semilla cruda. Entre los componentes de las proteínas de soya, se encuentran las subunidades de la globulina 11S que tienden a la formación agregados insolubles después de la disociación inducida por calor, siendo menos susceptibles a la proteólisis (German *et al.*, 1982). A pesar de tener diferentes propiedades tecno-funcionales, estas harinas poseen una excelente calidad nutricional, por lo que podrían agregarse a productos como bebidas para fortificarlos e incluso aprovechar su baja viscosidad para cambiar su textura y sensación en boca.

6. CONCLUSIONES

En el frijol el tratamiento con extrusión obtuvo mejores propiedades tecno-funcionales como capacidad espumante (10-40%) y estabilidad de espumas, capacidad de gelificación (12%), índice de solubilidad (9.57 – 12.41%) y viscosidad de las harinas obtenidas por este método en comparación con la cocción tradicional. La temperatura de 180 °C en extrusión permitió obtener harinas de frijol con una cantidad de compuestos antinutricios similar al proceso de extrusión, demostrando no afectar la digestibilidad *in vitro* de esta harina en alta humedad.

Las harinas de garbanzo obtenidas por extrusión también demostraron mejores propiedades tecno-funcionales (estabilidad de espumas, 8% de capacidad de gelificación, índice de solubilidad de 10.38 a 12.46% y viscosidad) en comparación al método tradicional; además de que este método es efectivo a partir de los 140 °C en la inactivación de los compuestos antinutricios hasta cantidades no detectables, sin modificar su digestibilidad *in vitro* (74.95%).

Las harinas de soya presentaron diferencias en las propiedades tecno-funcionales en comparación con las semillas de frijol y garbanzo, ya que en ningún tratamiento presentaron capacidad de gelificar y por lo tanto no presentaron diferencias en su viscosidad. Sin embargo, el tratamiento con extrusión disminuye el contenido de factores antinutricios en cantidades similares a los de cocción tradicional a 180 °C (5.4 UH/mg de lectinas y 0.88 UTI/mg de inhibidores de tripsina) en alta humedad, con una digestibilidad del 75.32% y un alto contenido de proteína del 33.43%.

El tratamiento de extrusión promete ser un tratamiento eficiente para la obtención de ingredientes potenciales obtenidos de leguminosas para su implementación en alimentos de consumo instantáneo o que necesiten otro proceso, sin comprometer la calidad de sus nutrientes y con mejores propiedades tecno-funcionales que los obtenidos por cocción tradicional.

7. REFERENCIAS

- Abbas, Y., & Ahmad, A. (2018). Impact of processing on nutritional and anti-nutritional factors of legumes: A review. *Annals Food Science. Technology*, 19, 99–215.
- Aguilar Raymundo, V. G., & Vélez Ruiz, J. F. (2013). Propiedades nutricionales y funcionales del garbanzo (*Cicer arietinum* L.). *Temas selectos de Ingeniería de Alimentos*, 7(2), 25–34.
- Aguilera, Y. (2010). Harinas de leguminosas deshidratadas caracterización nutricional y valoración de sus propiedades tecnofuncionales. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid, Facultad de Ciencias.
- Aguilera, Y., Benítez, V., Mollá, E., Esteban, R.M., y Martín C.M.A. (2011). Influence of dehydration process in Castella-no chickpea: changes in bioactive carbohydrates and functional properties. *Plant Foods Human Nutrition*, 66, 391–400.
- Alajaji, S., & El-Adawy, T. (2006). Nutritional composition of chickpea (*Cicer arietinum* L.) as affected by microwave cooking and other traditional cooking methods. *Journal of Food Composition and Analysis* 19, 806–812.
- Alam, M. S., Kumar, S., & Khaira, H. (2015). Effects of extrusion process parameters on a cereal-based ready-to-eat expanded product formulated with carrot pomace. *Cereal Foods World*, 60(6), 287–295.
- Albarracín, W., Acosta, L. F., & Sánchez, I. C. (2010). Elaboración de un producto cárnico escaldado utilizando como extensor harina de frijol común (*Phaseolus spp.*). *Vitae*, 17(3), 264–271.
- Alfaro-Díaz, A., Urías-Silvas, J. E., Loarca-Piña, G., Gaytán-Martínez, M., Prado-Ramírez, R., & Mojica, L. (2021). Techno-functional properties of thermally treated black bean protein concentrate generated through ultrafiltration process. *LWT - Food Science and Technology*, 136, 110296.
- Al-Ruwaih, N., Ahmed, J., Mulla, M. F., & Arfat, Y. A. (2019). High-pressure assisted enzymatic proteolysis of kidney beans protein isolates and characterization

- of hydrolysates by functional, structural, rheological and antioxidant properties. *LWT*, 100, 231–236.
- Ambawat, S., & Khetarpaul, N. (2018). Comparative assessment of antioxidant, nutritional and functional properties of soybean and its by-product okara. *Annals of Phytomedicine*, 7(1), 112–118.
- Anderson, R. A. (1996). Water Absorption and Solubility and Amylograph Characteristics of Roll-Cooked Small Grain Products. *Cereal Chem*, 59(4), 5.
- AOAC INTERNATIONAL. (2002). Official Methods of Analysis of The Association of Official Analytical Chemist, Inc.
- AOAC INTERNATIONAL. (2005). Official Methods of Analysis of The Association of Official Analytical Chemist. 18th Ed.
- Arcila, J. A., Weier, S. A., & Rose, D. J. (2015). Changes in dietary fiber fractions and gut microbial fermentation properties of wheat bran after extrusion and bread making. *Food Research International*, 74, 217–223.
- Arribas, C., Cabellos, B., Cuadrado, C., Guillamón, E., & Pedrosa, M. M. (2019). The effect of extrusion on the bioactive compounds and antioxidant capacity of novel gluten-free expanded products based on carob fruit, pea and rice blends. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 52, 100–107.
- Arribas-Martínez, C. P. (2020). Nuevos alimentos sin gluten elaborados mediante extrusión de arroz fortificado con leguminosas: Desarrollo y Caracterización Nutricional, Funcional y Sensorial. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Madrid.
- Balandrán Quintana, R. R., Barbosa Canovas, G. V., Zazueta Morales, J. J., Anzaldúa Morales, A., & Quintero Ramos, A. (1998). Functional and Nutritional Properties of Extruded Whole Pinto Bean Meal (*Phaseolus Vulgaris* L.). *Journal of Food Science*, 63(1), 113–116.

- Barreto, G. S. C., Vanderlei, F. M., Vanderlei, L. C. M., & Leite, Á. J. M. (2016). Impact of malnutrition on cardiac autonomic modulation in children. *Jornal de Pediatria*, 92, 638–644.
- Basso-Los, F. G., Ferreira Zielinski, A. A., Wojcicchowski, J. P., Nogueira, A., & Demiate, I. M. (2018). Beans (*Phaseolus vulgaris* L.): whole seeds with complex chemical composition. *Current Opinion in Food Science*, 19, 63–71.
- Bencini, M. (1986). Functional properties of drum-dried chickpea (*Cicer arietinum* L.) flours. *Journal of Food Science*. 51: 1518–1526.
- Berrios, J., Morales, P., Cámara, M., & Sánchez, M. C. (2010). Carbohydrate Composition of Raw and Extruded Pulse Flours. *Journal of Food Research International*, 40, 531–536.
- Betancur-Ancona, D., Gallegos-Tintoré, S., & Chel-Guerrero, L. (2004). Wet-fractionation of *Phaseolus lunatus* seeds: partial characterization of starch and protein. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84(10), 1193–1201.
- Beuchat, L. R. (1977). Functional and electrophoretic characteristics of succinylated peanut flour protein. *Journal of Agriculture. Food Chemistry*, 25(2), 258–262
- Binou, P., Yanni, A. E., & Karathanos, V. T. (2020). Physical properties, sensory acceptance, postprandial glycemic response, and satiety of cereal based foods enriched with legume flours: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1–19.
- Bitocchi, E., Bellucci, E., Giardini, A., Rau, D., Rodriguez, M., Biagetti, E., Santilocchi, R., Spagnoletti, P., Gioia, T., Logozzo, G., Attene, G., Nanni, L., & Papa, R. (2013). Molecular analysis of the parallel domestication of the common bean (*Phaseolus vulgaris*) in Mesoamerica and the Andes. *New Phytologist*, 197(1), 300–313.
- Boye, J., Aksay, S., Roufik, S., Ribereau, S., Mondor, M., Farnworth, E., & Rajamohamed, S. H. (2010). Comparison of the functional properties of pea, chickpea and lentil

- protein concentrates processed using ultrafiltration and isoelectric precipitation techniques. *Food Research International*, 43(2), 537–546.
- Brown, J. (2014). *Nutrición en las diferentes etapas de la vida. 5ta Ed., McGraw-Hill.*
- Cabrera-Ramírez, A. H., Morales-Sánchez, E., Mendez-Montevalvo, G., Velazquez, G., Rodríguez-García, M. E., Villamiel, M., & Gaytán-Martínez, M. (2021). Structural changes in popped sorghum starch and their impact on the rheological behavior. *International Journal of Biological Macromolecules*, 186, 686–694.
- Camire, M. E., Camire, A., & Krumhar, K. (1990). Chemical and nutritional changes in foods during extrusion. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 29(1), 35–57.
- Campos-Vega, R., Loarca-Piña, G., & Oomah, B. D. (2010). Minor components of pulses and their potential impact on human health. *Food research international*, 43, 461–482.
- Campos-Vega, R., Reynoso-Camacho, R., Pedraza-Aboytes, G., Acosta-Gallegos, J. A., Guzman-Maldonado, S. H., Paredes-Lopez, O., Oomah, B. D., Loarca Piña, G. (2009). Chemical composition and *in vitro* polysaccharide fermentation of different beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Journal of Food Science*, 74(7), 59–65.
- Carbonaro, M., Cappelloni, M., Nicoli, S., Lucarini, M., & Carnovale, E. (1997). Solubility–digestibility relationship of legume proteins. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 45(9), 3387–3394.
- Carvajal-Basantes, S. P. (2018). Efecto de los parámetros de extrusión sobre la calidad nutricional y textura de la mezcla de maíz (*Zea mays*), frijol (*Phaseolus vulgaris*) y camote (*Ipomoea batata*) en el snack. Tesis profesional. Universidad Técnica del Norte, Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales.
- Celmeli, T., Sari, H., Canci, H., Sari, D., Adak, A., Eker, T., & Toker, C. (2018). The Nutritional Content of Common Bean (*Phaseolus vulgaris* L.) Landraces in Comparison to Modern Varieties. *Agronomy*, 8(9), 166.

- Cerón-Fernández, I., Guerra-Morcillo, V., Legarda-Quintero, J., Enríquez-Collazos, M. & Pismag-Portillas, Y. (2016). Efecto de la extrusión sobre las características físico-químicas de harina de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). *Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 92–99.
- Cervantes-Ramírez, J., Cabrera-Ramírez, A. H., Morales-Sánchez, E., Rodríguez-García, M., Reyes-Vega, M., Ramírez-Jiménez, A., Contreras-Jiménez, B., Gaytán-Martínez, M. (2020). Amylose-lipid complex formation from extruded maize starch mixed with fatty acids. *Carbohydrate Polymers*, 246, 116555.
- Ciudad-Mulero, M., Fernández-Ruiz, V., Cuadrado, C., Arribas, C., Pedrosa, M.M., Berrios, J.D.J., Pan, J., & Morales, P. (2020). Novel gluten-free formulations from lentil flours and nutritional yeast: Evaluation of extrusion effect on phytochemicals and non-nutritional factors. *Food Chemistry*, 315, 126175.
- Chávez-Santoscoy, R., Gutiérrez-Urbe, J., Granados, O., Torre-Villalvazo, I., Serna-Saldivar, S., Torres, N., Palacios-González, B., & Tovar, A. R. (2014). Flavonoids and saponins extracted from black bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seed coats modulate lipid metabolism and biliary cholesterol secretion in C57BL/6 mice. *British Journal of Nutrition*, 112(6), 886–899.
- Cheftel, J. C. (1986). Nutritional effects of extrusion-cooking. *Food chemistry*, 20(4), 263–283.
- Cheftel, J., Cud, J., & Lorient, D. (1989). Proteínas Alimentarias. Editorial. Acribia. España.
- Chel, L., Corzo, L., & Betancur, D. (2003). Estructura y propiedades funcionales de proteínas de leguminosas. *Revista de la Universidad Autónoma de Yucatán*, 227: 34–43.
- Clarke, E., & Wiseman, J. (2007). Effects of extrusion conditions on trypsin inhibitor activity of full fat soybeans and subsequent effects on their nutritional value for young broilers. *British Poultry Science*, 48(6), 703–712.

- CODEX STAN 171-1989. (2007). Cereales, Legumbres, Leguminosas y Productos Proteínicos Vegetales. Norma del Codex para Determinadas Legumbres. CODEX STAN 171-1989 (Rev. 1-1995). Codex Alimentarius. Primera edición. Organización Mundial de la Salud.
- Coffman, C., & García, V. (1977). Functional properties and amino acid content of a protein isolate from mung bean flour. *Journal of Food Technology*, 12, 473–487.
- Cueva, M. F., Pérez, C. A., Argilagos, M. R., & Caicedo, R. G. (2021). La desnutrición infantil en Ecuador. Una revisión de literatura. *Boletín de Malariología y Salud Ambiental*, 61(4), 556–564.
- Damodaran, S., Hettiarachchy, N. S., & Ziegler, G. R. (1994). Protein functionality in food system. eds. *NS Hettiarachchy and GR Ziegler, Marcel Decker, New York*, 1.
- Deshpande, S. S., & Cheryan, M. (1987). Determination of phenolic compounds of dry beans using vanillin, redox and precipitation assays. *Journal of Food Science*, 52(2), 332–334.
- Deshpande, S. S., & Damodaran, S. (1990). Conformational characteristics of legume 7S globulins as revealed by circular dichroic, derivative uv absorption and fluorescence techniques. *International Journal of Peptide and Protein Research*, 35(1), 25–34.
- Dhingra, D., Michael, M., Rajput, H., & Patil, R. T. (2012). Dietary fibre in foods: a review. *Journal of food science and technology*, 49, 255–266.
- Dilworth, L. L., Omoruyi, F. O., Simon, O. R., Morrison, E. Y., & Asemota, H. N. (2005). The effect of phytic acid on the levels of blood glucose and some enzymes of carbohydrate and lipid metabolism. *West Indian Med J*, 54(2), 102–106.
- Ding, Y., Luo, F., & Lin, Q. (2019). Insights into the relations between the molecular structures and digestion properties of retrograded starch after ultrasonic treatment. *Food Chemistry*, 294, 248–259.
- Doria, J. (2010). Generalidades sobre las semillas: su producción, conservación y almacenamiento. *Cultivos tropicales*, 31(1).

- Du, S. K., Jiang, H., Yu, X., & Jane, J. L. (2013). Physicochemical and functional properties of whole legume flour. *LWT-Food Science and Technology*, 55(1), 308–313.
- Elizalde, A. D. D., Porilla, Y. P. & Chaparro, D. C. (2009). *Antinutritional factors in eatable seeds. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 7(1), 45–54.
- El-Samahy, S. K., El-Hady, E. A., Habiba, R. A., & Moussa-Ayoub, T. E. (2007). Some functional, chemical, and sensory characteristics of cactus pear rice-based extrudates. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*, 9, 136–147.
- Emin, M. A., Teumer, T., Schmitt, W., Rädle, M., & Schuchmann, H. P. (2016). Measurement of the true melt temperature in a twin-screw extrusion processing of starch-based matrices via infrared sensor. *Journal of Food Engineering*, 170, 119–124.
- Enwere, N. J., McWatters, K. H., & Phillips, R. D. (1998). Effect of processing on some properties of cowpea (*Vigna unguiculata*), seed, protein, starch, flour and akara. *International journal of food sciences and nutrition*, 49(5), 365-373.
- Escobedo, A., Loarca-Piña, G., Gaytán-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.
- Escobedo, A., Rivera-León, E. A., Luévano-Contreras, C., Urías-Silvas, J. E., Luna-Vital, D. A., Morales-Hernández, N., & Mojica, L. (2021). Common Bean Baked Snack Consumption Reduces Apolipoprotein B-100 Levels: A Randomized Crossover Trial. *Nutrients*, 13(11), 3898.
- Esmat, A., Abou Arab, I., Helmy, M. F., & Bareh, G. F. (2010). Nutritional evaluation and functional properties of chickpea (*Cicer arietinum* L.) flour and the improvement of spaghetti produced from its. *Journal of American Science*, 6(10), 1055–1072.

- Espinoza-García, N., Martínez-Martínez, R., Chávez-Servia, J. L., Vera-Guzmán, A. M., Carrillo-Rodríguez, J. C., Heredia-García, E., Velasco-Velasco, V. A. (2016). Mineral content in seeds of native populations of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 39, 215–223.
- Espinosa-Martos, I., & Rupérez, P. (2009). Indigestible fraction of okara from soybean: Composition, physicochemical properties and in vitro fermentability by pure cultures of *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium bifidum*. *European Food Research and Technology*, 228(5), 685–693.
- Fares, C., & Menga, V. (2012) Effects of toasting on the carbohydrate profile and antioxidant properties of chickpea (*Cicer arietinum* L.) flour added to durum wheat. *Food Chemistry* 131, 1140–1148.
- Farfán-López, C., & De Basilio, V. (2014). Desactivación del frijol integral de soya y su utilización en el alimento para engorde de cerdos. *Mundo Pecuario*, 10(3), 99–110.
- FAO. (2015). FAOSTAT: Suite of Food Security Indicators.
- FAO. (2016). Semillas nutritivas para un futuro sostenible.
- FAO. (2023). FAOSTAT: Statistics Division.
- FAO, FIDA, OPS, WFP, & UNICEF. (2021). América Latina y el Caribe - Panorama regional de la seguridad alimentaria y nutricional 2021: estadísticas y tendencias. FAO.
- Fennema, O. R. (1996). Food chemistry (3rd ed.). New York: Marcel Dekker, Inc.
- Fillery-Travis, A., Mills, E. N. C., & Wilde, P. (2000). Protein-lipid interactions at interfaces. *Grasas y Aceites*, 51(1-2), 50–55.
- García-Cerreno, F. L. (1996). *Proteinase inhibitors. Trends in Foods Science & Technology*, 7, 197–204.
- García, D. E. (2004). Principales factores antinutricionales de las leguminosas forrajeras y sus formas de cuantificación. *Pastos y forrajes*, 27(2).

- García, O., Aiello, C., Chirino, M. C. P., Ruíz-Ramírez, J., & Pons, I. A. (2012). Caracterización físico-química y propiedades funcionales de la harina obtenida de granos de quinchoncho (*Cajanus cajan* (L.) Millsp.) sometidos a diferentes procesamientos. *Revista Científica UDO Agrícola*, 12(4), 919–928.
- German, B., Damodaran, S., & Kinsella, J. E. (1982). Thermal Dissociation and Association Behavior of Soy Proteins. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 30, 807–811.
- Ghavidel, R. A., & Prakash, J. (2006). Effect of germination and dehulling on functional properties of legume flours. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(8), 1189–1195.
- Granito, M., Guinand, J., Pérez, D., & Suhey, P. (2009). Valor nutricional y propiedades funcionales de *Phaseolus vulgaris* procesada: un ingrediente potencial para alimentos. *Interciencia*, 34(2), 64–70.
- Guillamon, E., Pedrosa, M. M., Burbano, C., Cuadrado, C., de Cortes Sanchez, M., & Muzquiz, M. (2008). The trypsin inhibitors present in seed of different grain legume species and cultivar. *Journal of Food Chemistry*, 107, 68–74.
- Guillén-Román, C. J., Guevara-González, R., Guevara-Olvera, L., Villaseñor-Ortega, F., & Pérez-Pérez, C. I. (2013). Incorporación de compuestos fenólicos a películas y recubrimientos comestibles. *Avances deficiencia y tecnología alimentaria en México*, 503–521.
- Gujaska, E., & Khan, K. (1990). Effect of Temperature on Properties of Extrudates from High Starch Fractions of Navy, Pinto and Garbanzo Beans. *Journal of Food Science*, 55(2), 466–469.
- Gupta, N., Tiwari, S., Tripathi, M. K., & Bhagyawant, S. S. (2021). Antinutritional and protein based profiling of diverse desi and wild chickpea accessions. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 40(6), 7–18.

- Gutiérrez, R., Ayala, A. E., Milán, J., López, J. A., Garzón, J. A., López, J. A., Paredes, O., & Reyes, C. (2008). Technological and nutritional properties of flours and tortillas from nixtamalized and extruded quality protein maize (*Zea mays* L). *Cereal Chemistry*, 85, 808–816.
- Harper J.M. 1989. Food extruders and their applications. In C. Mercier, P. Linko, & J. M. Harper (Eds.). *Extrusion cooking*. St. Paul: American Association of Cereal Chemists, 1–15.
- Hayat, I., Ahmad, A., Masud, T., Ahmed, A., & Bashir, S. (2013). Nutritional and Health Perspectives of Beans (*Phaseolus vulgaris* L.): An Overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54(5), 580–592.
- Heywood, A. A., Myers, D. J., Bailey, T. B., & Johnson, L. A. (2002). Functional properties of low-fat soy flour produced by an extrusion-expelling system. *Journal of the American Oil Chemists Society*, 79(12), 1249–1253.
- Hilakivi Clarke, L., Andrade, J. E., & Helferich, W. (2010). Is Soy Consumption Good or Bad for the Breast? *The Journal of Nutrition*, 140 (12), 2326S–2334S.
- Hirdyani, H. (2014). Nutritional composition of Chickpea (*Cicer arietinum* L.) and value added products-a review. *Indian Journal of Community Health*, 26(2), 102–106.
- Hsu, H. W., Vavak, D. L., Satterlee, L., & Miller, G. A. (1977). A multienzyme technique for estimating protein digestibility. *Journal of food science*, 42(5), 1269–1273.
- INFOSAN. (2006). Red Internacional de Autoridades en materia de Inocuidad de los Alimentos. Nota Informativa N° 3 – Alergias alimentarias.
- Iniestra-González, J.J., Ibarra-Pérez, F.J., Gallegos-Infante, J.A., Rocha-Guzmán, N.E., & González-Laredo, R.F. (2005). Factores antinutricios y actividad antioxidante en variedades mejoradas de frijol común (*Phaseolus vulgaris*). *Agrociencia*, 39(6), 603–610.

- Ionescu, A., Aprodu, I., Darabă, A., Gurău, G. y Banu, I. (2011). Rheology of chickpea protein concentrate dispersions. *Scientific Study and Research Chemistry and Chemical Engineering, Biotechnology, Food Industry*, 12(4), 387–399.
- Jiang, G. L., Chen, P., Zhang, J., Florez-Palacios, L., Zeng, A., Wang, X., Bowen, R. A., Miller, A., & Berry, H. (2018). Genetic analysis of sugar composition and its relationship with protein, oil, and fiber in soybean. *Crop Science*, 58(6), 2413–2421.
- Kakade, M. L., Rackis, J. J., McGhee, J. E., & Puski, G. (1974). Determination of trypsin inhibitor activity of soy products: a collaborative analysis of an improved procedure. *Cereal Chemistry* 51(3), 376–82.
- Kaur, K., Grewal, S. K., Gill, P. S., & Singh, S. (2019). Comparison of cultivated and wild chickpea genotypes for nutritional quality and antioxidant potential. *Journal of Food Science and Technology*, 56(4), 1864–1876.
- Kaur, M., & Singh, N. (2006). Relationships between selected properties of seeds, flours, and starches from different chickpea cultivars. *International Journal of Food Properties*, 9(4), 597–608.
- Kaur, M., y Singh, N. (2007). Characterization of protein isolates from different Indian chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. *Food Chemistry*, 102, 366–374.
- Kennedy, A. R. (1993). *Cancer prevention by protease inhibitors. Preventative Medicine*, 22, 796–811.
- Kinsella, J.E. (1976). Functional properties of proteins in food: a Survey. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 7, 219–280.
- Kinsella, J. E. (1979). Functional properties of soy proteins. *Journal of American Oil Chemists' Society*, 56, 242–258.
- Kohajdová, Z., Karovicová, J. y Magala, M. (2011). Utilisation of chickpea flour for crackers production. *Acta Chimica Slovaca*, 4(2), 98–107.

- Kumar-Gautam, A., Sharma, D., Sharma, J., & Chand Saini, K. (2019). *Legume lectins: Potential use as a diagnostics and therapeutics against the Cancer. International Journal of Biological Macromolecules* 142, 474–483.
- Lázaro-Cajusol, J. E., & Sotelo-Herrera, M. G. (2017). Optimización por diseño de mezcla de un snack de grits de maíz amarillo (*Zea mays*), harina de quinua (*Chenopodium quinoa*) y harina de garbanzo (*Cicer arietinum*) obtenido mediante extrusión. Tesis profesional. Universidad Nacional del Santa, Facultad de Ingeniería.
- Lee, E. Y., Lim, K. I., Lim, J. K., & Lim, S. T. (2000). Effects of gelatinization and moisture content of extruded starch pellets on morphology and physical properties of microwave-expanded products. *Cereal Chemistry*, 77(6), 769–773.
- Lee, S. H., Park, H. J., Cho, S. Y., Jung, H. J., Cho, S. M., Cho, Y. S., & Lillehoj, H. S. (2005). Effects of dietary phytic acid on serum and hepatic lipid levels in diabetic KK mice. *Nutrition Research*, 25(9), 869–876.
- Leeson, S., & Atteh, J. O. (1996). *Response of broiler chicks to dietary full-fat soybeans extruded at different temperatures prior to or after grinding. Animal feed science and technology*, 57(3), 239–245.
- Leontowicz, H., Leontowicz, M., Kostyra, H., Gralak, M. A., & Kulasek, G. W. (1999). The influence of extrusion or boiling on trypsin inhibitor and lectin activity in leguminous seeds and protein digestibility in rats. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 8, 77–87.
- Liener, I.E. (1994). Implication of antinutritional components in soy-beans foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 34, 31–67.
- Liener, I. E., Sharon, N., & Goldstein, I. J. (2002). *The lectins: Properties, functions and applications in biology and medicine*. Orlando, FL: Academic Press.
- Lima-Becerra, I. I. (2020). Calentamiento óhmico como herramienta para el mejoramiento de las propiedades tecno-funcionales de harina de frijol. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Química.

- Linko, P., Colonna, P. and Mercier, C. (1981). High temperature, short time extrusion-cooking. *Advances in Cereal Science and Technology*, 4,145–235.
- Liu, Yunfei, Chen, J., Luo, S., Li, C., Ye, J., Liu, C., & Gilbert, R. G. (2017). Physicochemical and structural properties of pregelatinized starch prepared by improved extrusion cooking technology. *Carbohydrate Polymers*, 175, 265–272
- López-Sánchez, C., López-Martínez, F. J., Castañeda-Cuevas, A., Yllescas-Gasca, L., Ferriz-Martínez, R., Torres-Arteaga, I., & García-Gasca, T. (2010). *Evaluación de la toxicidad in vitro e in vivo de lectinas de frijol Tépari*. *CIENCIA@ UAQ*, 3(1), 3132010.
- Lozada Salcedo, E. E., Núñez Torres, O. P., Rosero Peñaherrera, M. A., & Aragadvay Yungan, R. G. (2017). Efectos fisiopatológicos de los compuestos secundarios en la alimentación de monogástricos. *Journal of the Selva Andina Animal Science*, 4(1), 82–92.
- Luna-Jiménez, A. (2007). Composición y procesamiento de la soya para consumo humano. *Investigación y Ciencia: de la Universidad Autónoma de Aguascalientes*, (37), 35.
- Ma, Z., Boye, J. I., Simpson, B. K., Prasher, S. O., Monpetit, D., & Malcolmson, L. (2011). Thermal processing effects on the functional properties and microstructure of lentil, chickpea, and pea flours. *Food Research International*, 44(8), 2534–2544.
- Márquez Lara, D., & Suárez Londoño, Á. (2008). El uso de taninos condensados como alternativa nutricional y sanitaria en rumiantes. *Revista de Medicina Veterinaria*, 1(16), 87–109.
- Marquezi, M., Gervin, V. M., Watanabe, L. B., Bassinello, P. Z., & Amante, E. R. (2016). Physical and chemical properties of starch and flour from different common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars. *Brazilian Journal of Food Technology*, 19.

- Martínez-Domínguez, B., Ibáñez-Gómez, M., & Rincón-León, F. (2002). *Acido fítico: aspectos nutricionales e implicaciones analíticas*. *Archivos latinoamericanos de nutrición*, 52(3), 219-231.
- Martínez, J. A., & Zulet, A. (2003). Leguminosas. *Alimentos. Composición y propiedades*. 2da Ed., McGraw-Hill. Interamericana de España SAU. Madrid, España. 155–167.
- Martínez, M. M., Pico, J., & Gómez, M. (2015). Physicochemical modification of native and extruded wheat flours by enzymatic amylolysis. *Journal of Food Chemistry*, 167, 447–453.
- Martirena, A., Veitía, N., García, L. R., Collado, R., Torres, D., Quintana, L. R., & Ramírez, M. (2017). Caracterización morfológica de líneas de *Phaseolus vulgaris* L. en casa de cultivo. *Bioteología Vegetal*, 17(3).
- Medic, J., Atkinson, C., & Hurburgh, C. R. (2014). *Current Knowledge in Soybean Composition*. *Journal of the American Oil Chemists' Society*, 91(3), 363–384.
- Meng, X., Threinen, D., Hansen, M., & Driedger, D. (2010). Effects of extrusion conditions on system parameters and physical properties of a chickpea flour-based snack. *Food Research International*, 43(2), 650–658.
- Meenu, M., Chen, P., Mradula, M., Chang, S. K., & Xu, B. (2023). New insights into chemical compositions and health-promoting effects of black beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food Frontiers*, 4, 1019–1038.
- Merga, B., & Haji, J. (2019). Economic importance of chickpea: Production, value, and world trade. *Cogent Food & Agriculture*, 5(1), 1615718.
- Milán-Carrillo, J., Reyes Moreno, C., Armienta Rodelo, E., Carábez Trejo, A., & Mora Escobedo, R. (2000). Physicochemical and Nutritional Characteristics of Extruded Flours from Fresh and Hardened Chickpeas (*Cicer arietinum* L.). *LWT - Food Science and Technology*, 33(2), 117–123.

- Milán, J., Valdez, C., Gutiérrez, R., Cárdenas, O. G., Mora, R., Garzón, J. A., & Reyes, C. (2007). Nutritional properties of quality protein maize and chickpea extruded based weaning food. *Plant Foods for Human Nutrition*, 62, 31–37.
- Ministerio de Salud y Protección Social. (2016). Resolución 2465 del 2016. Bogotá: MSPS.
- Mojica, L., Chen, K., & de Mejía, E. G. (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(1), 188–198.
- Moncada-Rodríguez, L. M., & Gualdrón de Hernández, L. G. (2006). Retención de nutrientes en la cocción, freído y horneado de tres alimentos energéticos. *Revista de investigación*, 6(2), 179-187.
- Morales, P., Berrios, J. D. J., Varela, A., Burbano, C., Cuadrado, C., Muzquiz, M., & Pedrosa, M. M. (2015). Novel fiber-rich lentil flours as snack-type functional foods: an extrusion cooking effect on bioactive compounds. *Food & Function*, 6(9), 3135–3143.
- Naczki, M., Pegg, R. B., & Amarowicz, R. (2011). Protein-precipitating capacity of bearberry-leaf (*Arctostaphylos uva-ursi* L. Sprengel) polyphenolics. *Food chemistry*, 124(4), 1507–1513.
- Nagmani, B., & Prakash, J. (1997). Functional properties of thermally treated legume flours. *International journal of food sciences and nutrition*, 48(3), 205–214.
- Naranjo, A. E., Alcivar, V. A., Villamar, T. S., & Betancourt, F. A. (2020). Desnutrición infantil kwashiorkor. *RECIMUNDO*, 4(1), 24–45.
- Nciri, N., & Cho, N. (2018). New research highlights: Impact of chronic ingestion of white kidney beans (*Phaseolus vulgaris* L. var. Beldia) on small-intestinal disaccharidase activity in Wistar rats. *Toxicology reports*, 5, 46–55.

- Nikmaram, N., Leong, S. Y., Koubaa, M., Zhu, Z., Barba, F. J., Greiner, R., Oey, I., & Roohinejad, S. (2017). *Effect of extrusion on the anti-nutritional factors of food products: An overview. Food Control, 79*, 62–73.
- Niño-Medina, G., Muy-Rangel, D. & Urías-Orona, V. (2017). *Chickpea (Cicer arietinum) and Soybean (Glycine max) Hulls: Byproducts with Potential Use as a Source of High Value-Added Food Products. Waste Biomass Valor 8*, 1199–1203.
- Nishinari, K., Fang, Y., Guo, S., & Phillips, G. O. (2014). Soy proteins: A review on composition, aggregation and emulsification. *Food hydrocolloids, 39*, 301–318.
- NMX-FF-038-SCFI-2016. (2016). Norma Oficial Mexicana NMX-FF-038-SCFI-2016, Productos alimenticios no industrializados para consumo humano - fabáceas – frijol (*Phaseolus Vulgaris* L.) - especificaciones y métodos de prueba.
- NOM-247-SSA1-2008. (2008). Norma Oficial Mexicana NOM-247-SSA1-2008, Productos y servicios. Cereales y sus productos. Cereales, harinas de cereales, sémolas o semolinas. Alimentos a base de: cereales, semillas comestibles, de harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas. Productos de panificación. Disposiciones y especificaciones sanitarias y nutrimentales
- Ocheme, O. B., Adedeji, O. E., Chinma, C. E., Yakubu, C. M., & Ajibo, U. H. (2018). Proximate composition, functional, and pasting properties of wheat and groundnut protein concentrate flour blends. *Food Science & Nutrition, 6*(5), 1173–1178.
- Offiah, V., Kontogiorgos, V., & Falade, K. O. (2018). Extrusion processing of raw food materials and by-products: A review. *Critical reviews in food science and nutrition, 59*(18), 2979–2998.
- Olivares, S., Rossi, N., & Bustos, N. (2018). ¿Cómo aumentar el consumo de leguminosas en la población Chilena? *Revista chilena de nutrición, 45*, 45–49.
- Ortiz, D. O., Pinzón, O., & Aya, L. B. (2020). Prevalencia de desnutrición en niños y adolescentes en instituciones hospitalarias de América Latina: una revisión. *Duazary: Revista internacional de Ciencias de la Salud, 17*(3), 70–85.

- Otero, M. J., & Hidalgo, L. G. (2004). *Taninos condensados en especies forrajeras de clima templado: efectos sobre la productividad de rumiantes afectados por parasitosis gastrointestinales (una revisión)*. *Livestock Research for Rural Development*, 16(2), 1–9.
- Padgett, S. R., Taylor, N. B., Nida, D. L., Bailey, M. R., MacDonald, J., Holden, L. R., & Fuchs, R. L. (1996). The composition of glyphosate-tolerant soybean seeds is equivalent to that of conventional soybeans. *The Journal of Nutrition*, 126(3), 702–716.
- Pasqualone, A., Costantini, M., Coldea, T. E., & Summo, C. (2020). Use of legumes in extrusion cooking: A review. *Foods*, 9(7), 958.
- Patel, M., & Kilara, A. (1990). Studies on whey protein concentrates. 2. Foaming and emulsifying properties and their relationships with physicochemical properties. *Journal of Dairy Science*, 73(10), 2731–2740
- Pérez-Navarrete, C., Betancur-Ancona, D., Casotto, M., Carmona, A., & Tovar, J. (2007). Efecto de la extrusión sobre la biodisponibilidad de proteína y almidón en mezclas de harinas de maíz y frijol lima. *Archivos latinoamericanos de nutrición*, 57(3), 278.
- Prada, G., Soto, A., & Herrán, O. (2005). Consumo de leguminosas en el departamento de Santander. Colombia. 2000-2003. *Archivos latinoamericanos de Nutrición*, 55(1), 64–70.
- Prado-López, B. (1999). Efecto de la configuración del tornillo del extrusor sobre la temperatura final y las características físicas y químicas de la soya Integral. Tesis profesional. Escuela Agrícola Panamericana.
- Ramírez-Jiménez, A. K., Reynoso-Camacho, R., Mendoza-Díaz, S., & Loarca-Piña, G. (2014). Functional and technological potential of dehydrated *Phaseolus vulgaris* L. flours. *Food Chemistry*, 161, 254–260.

- Ramos, N., Lúquez, J., & Eyherabide, G. (2004). Calidad de la harina de soja sometida a distintos tratamientos térmicos para inactivar los factores antinutricionales. *Tecnología de Procesos, (7620)*, 681–683
- Rawal, V., & Navarro, D.K. (2019). *The Global Economy of Pulses*. FAO.
- Redondo Cuenca, A., Villanueva Suárez, M. J. & Mateos Aparicio, I. (2008) Soybean seeds and its by-product okara as sources of dietary fibre. Measurement by AOAC and Englyst methods. *Food Chemistry, 108*, 1099–1105.
- Reyes, C., Argüelles, O. D., Rochín, J. J., Milán, J., Rivera, J., Valdez, A., López, J. A., & Gutiérrez, R. (2012). High antioxidant activity mixture of extruded whole quality protein maize and common bean flours for production of a nutraceutical beverage elaborated with a traditional mexican formulation. *Plant Foods for Human Nutrition, 67*, 450–456.
- Reynoso-Camacho, R., de Mejía, E. G., & Loarca-Piña, G. (2003). Purification and acute toxicity of a lectin extracted from tepary bean (*Phaseolus acutifolius*). *Food and Chemical Toxicology, 41(1)*, 21–27.
- Riaz, M. N. (Ed.). (2000). *Extruders in food applications*. CRC press.
- Rivas-Vega, M. E. (2006). *Valor nutricional del frijol yorimon (Vigna unguiculata L. Walp) para camarón blanco del pacífico (Litopenaeus vannamei)*. Tesis Doctoral. Centro de Investigaciones Biológicas del Noreste.
- Rodríguez Miranda, J., Ramírez Wong, B., Vivar Vera, M. A., Solís Soto, A., Gómez Aldapa, C. A., Castro Rosas, J., Medrano Roldan, H., & Delgado-Licon, E. (2014). Effect of bean flour concentration (*Phaseolus vulgaris* L.), moisture content and extrusion temperature on the functional properties of aquafeeds. *Revista mexicana de ingeniería química, 13(3)*, 649–663.
- Rosas, M. R. (2006). Soja: nueva terapia de tradición asiática. *Offarm: farmacia y sociedad, 25(2)*, 80–86.

- Roy, F., Boye, J. I., & Simpson, B. K. (2010). Bioactive proteins and peptides in pulse crops: Pea, chickpea, and lentil. *Food Research International*, 43(2), 432–442.
- Sánchez-Quezada, 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. Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Química.
- Sandoval-Oliveros, M. R., & Paredes-López, O. (2012). Isolation and Characterization of Proteins from Chia Seeds (*Salvia hispanica* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(1), 193–201.
- Sarifudin, A., & Assiry, A. M. (2014). Some physicochemical properties of dextrin produced by extrusion process. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 13(2), 100–106.
- Sarwar-Gilani, G., Wu Xiao, C., & Cockell, K. A. (2012). *Impact of Antinutritional Factors in Food Proteins on the Digestibility of Protein and the Bioavailability of Amino Acids and on Protein Quality*. *British Journal of Nutrition*, 108(S2), S315–S332.
- Sasulki, F. W., Garrant, M. D., & Slinkard, A. E. (1996). Functional properties of fern legume flour. *Institute of Food Science and Technology Journal*, 9(2), 66–69.
- Sathe, S. K. (2002). Dry bean protein functionality. *Critical reviews in biotechnology*, 22(2), 175–223.
- Sattsangi, P. D., Sattsangi, S., & Grossman, H. H. (1982). *Isolation of soybean agglutinin (SBA) from soy meal*. *Journal of Chemical Education*, 59(11), 977.
- Schwartz, R.E., Wojciechowicz, D.C., Picon, A.I., Schwarz, M.A., & Paty, P.B. (1999). Wheatgerm agglutinin-mediated toxicity in pancreatic cancer cells. *British Journal of Cancer* 80, 1754–1762.
- Schwenke, K. D. (2001). Reflections about the functional potential of legume proteins: A Review. *Nahrung Food*, 45, 377–381.

- Serrano, J., & Goñi, I. (2004). Papel del frijol negro (*Phaseolus vulgaris*) en el estado nutricional de la población guatemalteca. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 54(1), 36–44.
- Sharma, M., Yadav, D. N., Mridula, D., & Gupta, R. K. (2016). Protein enriched multigrain expanded snack: Optimization of extrusion variables. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*, 86(4), 911–920.
- Shi, L., Arntfield, S. D., & Nickerson, M. (2018). *Changes in levels of phytic acid, lectins and oxalates during soaking and cooking of Canadian pulses. Food Research International*, 107, 660–668.
- Shimelis, E. A., Rakshit, S. K. (2005). Proximate composition and physico-chemical properties of improved dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties grown in Ethiopia. *LWT-Food Science and Technology*, 38, 331–338.
- Shimelis, E. A., & Rakshit, S. K. (2007). Effect of processing on antinutrients and *in vitro* protein digestibility of kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) varieties grown in East Africa. *Food Chemistry*. 103: 161–172.
- Du, S., Jiang, H., Yu, X., & Jane, J. (2014). Physicochemical and functional properties of whole legume flour. *LWT - Food Science and Technology*, 55(1), 308–313.
- Silva, E. O., & Bracarense, A. P. F. (2016). Phytic acid: from antinutritional to multiple protection factor of organic systems. *Journal of food science*, 81(6), R1357-R1362.
- Singh, B., Singh, J. P., Shevkani, K., Singh, N., & Kaur, A. (2017). Bioactive constituents in pulses and their health benefits. *Journal of food science and technology*, 54(4), 858–870.
- Singh, P., & Heldman, D. R. (2014). Extrusion Processes for Foods. *Introduction to Food Engineering*, 743–766.
- Singh, S., Gamlath, S., & Wakeling, L. (2007). *Nutritional aspects of food extrusion: a review. International Journal of Food Science & Technology*, 42(8), 916–929.

- Singh, U. (1988). *Antinutritional factors of chickpea and pigeonpea and their removal by processing*. *Plant Foods for Human Nutrition*, 38(3), 251–261.
- Singh, U. (2001). Functional properties of grain legume flours. *Journal of food science and technology (Mysore)*, 38(3), 191–199.
- Smeriglio, A., Barreca, D., Bellocco, E., & Trombetta, D. (2017). *Proanthocyanidins and hydrolysable tannins: occurrence, dietary intake and pharmacological effects*. *British Journal of Pharmacology*, 174(11), 1244–1262.
- Steel, C. J., Vernaza Leoro, M. G., Schmiele, M., Ferreira, R. E., & Chang, Y. K. (2012). Thermoplastic extrusion in food processing. In A. Z. El-Sonbati (Ed.). *Thermoplastic elastomers*, 265–290.
- Suksomboon, A., Limroongreungrat, K., Sangnark, A., Thititumjariya, K., & Noomhorm, A. (2010). Effect of extrusion conditions on the physicochemical properties of a snack made from purple rice (Hom Nil) and soybean flour blend. *International Journal of Food Science & Technology*, 46(1), 201–208.
- Torres, N., & Tovar, A. R. (2009). La historia del uso de la soya en México, su valor nutricional y su efecto en la salud. *Salud pública de México*, 51, 246–254.
- Torres-González, M. P., Jiménez-Munguía, M. T., & Bárcenas-Pozos, M. E. (2014). Harinas de frutas y/o leguminosas y su combinación con harina de trigo. *Temas selectos de Ingeniería de Alimentos*, 8(1), 94–102.
- Tovar-Hernández, C. E., Perafán-Gil, E. A., Enríquez-Collazos, M. G., Pismag-Portilla, Y., & Ceron-Fernandez, L. (2017). Evaluación del efecto del proceso de extrusión en harina de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) normal y germinada. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 15(2), 30–38.
- Ulloa, J. A., Rosas-Ulloa, P., Ramírez-Ramírez, J. C., & Ulloa-Rangel, B. E. (2011). El frijol (*Phaseolus vulgaris*): su importancia nutricional y como fuente de fitoquímicos. *Revista Fuente*, 8.

- Ummadi, P., Chenoweth, W. L., & Uebersax, M. A. (1995). *The influence of extrusion processing on iron dialyzability, phytates and tannins in legumes. Journal of Food Processing and Preservation, 19*(2), 119–131.
- Urbano, G., Lopez-Jurado, M., Aranda, P., Vidal-Valverde, C., Tenorio, E., & Porres, J. (2000). The role of phytic acid in legumes: antinutrient or beneficial function?. *Journal of physiology and biochemistry, 56*(3), 283–294.
- Volkert, M. A., & Klein, B. P. (1979). Protein dispersibility and emulsion characteristics of four soy products. *Journal of food Science, 44*(1), 93–96.
- Wagner, J. R. & Añón M. C. (1990). Influence of denaturation, hydrophobicity and sulfhydryl content on solubility and water absorbing capacity of soy protein isolates. *J. Food Science., 55*, 765–770.
- Wang, S., Ai, Y., Hood Niefer, S., & Nickerson, M. T. (2019). Effect of barrel temperature and feed moisture on the physical properties of chickpea, sorghum and maize extrudates and, the functionality of their resultant flours - Part 1. *Cereal Chemistry 96*(4), 609–620.
- Wheeler, E. L., & Ferrel, R. E. (1971). A method for phytic acid determination in wheat and wheat fractions. *Cereal chemistry, 48*(3), 312–320.
- Wood, J. A., Knights, E. J., & Choct, M. (2011). Morphology of chickpea seeds (*Cicer arietinum* L.): comparison of desi and kabuli types. *International Journal of Plant Sciences, 172*(5), 632–643.
- Yasumatsu, K., Sawada, K., Moritaka, S., Misaki, M., Toda, J., Wada, T., & Ishii, K. (1992). Studies on the functional properties of food grade soybean products: whipping and emulsifying properties of soybean products. *Agricultural and Biological Chemistry. 36*: 719–727.
- Yegrem, L. (2021). Nutritional composition, antinutritional factors, and utilization trends of Ethiopian chickpea (*Cicer arietinum* L.). *International journal of food science, 2021*, 1-10.

- Yin, S. W., Tang, C. H., Wen, Q. B., Yang, X. Q., & Li, L. (2008). Functional properties and *in vitro* trypsin digestibility of red kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) protein isolate: Effect of high-pressure treatment. *Food Chemistry*, 110(4), 938–945.
- Yağcı, S., & Göğüş, F. (2008). Response surface methodology for evaluation of physical and functional properties of extruded snack foods developed from food-by-products. *Journal of Food Engineering*, 86(1), 122–132.
- Yaylayan, V. A., Fichtali, J., & van de Voort, F. R. (1992). Production of Maillard reaction flavour precursors by extrusion processing. *Food Research International*, 25(3), 175–180.
- Zhang, B., Qiao, D., Zhao, S., Lin, Q., Wang, J., & Xie, F. (2021). Starch-based food matrices containing protein: Recent understanding of morphology, structure, and properties. *Trends in Food Science & Technology*, 114, 212–231.
- Zhang, R. F., Zhang, F. X., Zhang, M. W., Wei, Z. C., Yang, C. Y., Zhang, Y., Tang, X. J., Deng, Y. & Chi, J. W. (2011). Phenolic composition and antioxidant activity in seed coats of 60 Chinese black soybean (*Glycine max* L. Merr.) varieties. *Journal of agricultural and food chemistry*, 59(11), 5935–5944.
- Zhang, Y. E., & Parsons, C. M. (1993). Effects of extrusion and expelling on the nutritional quality of conventional and Kunitz trypsin inhibitor-free soybeans. *Poultry Science*, 72(12), 2299–2308.
- Ziegler, E. E. (1997). Conocimientos actuales sobre nutrición. 2ª Ed., *Pan American Health Org*, 73–87.
- Žilić, S., Mogol, B. A., Akıllıoğlu, G., Serpen, A., Delić, N., & Gökmen, V. (2013). Effects of extrusion, infrared and microwave processing on Maillard reaction products and phenolic compounds in soybean. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(1), 45–51.

8. ANEXOS



Anexo 1. Extrusor utilizado.



Anexo 2. Semillas de soya saliendo del dado en el extrusor.



Anexo 3. Semillas de soya en tolva de alimentación del extrusor.



Anexo 4. Semillas de frijol extrudidas.



Anexo 5. Harinas extrudidas de soya, frijol y garbanzo molidas.



Anexo 6. Prueba capacidad espumante.



Anexo 7. Prueba estabilidad de la espuma, muestra frijol crudo pH 3 a los 15 min.



Anexo 8. Prueba capacidad gelificante, muestra garbanzo y frijol crudo.



Anexo 9. Prueba capacidad gelificante, muestra soya extrudida a 140 °C.



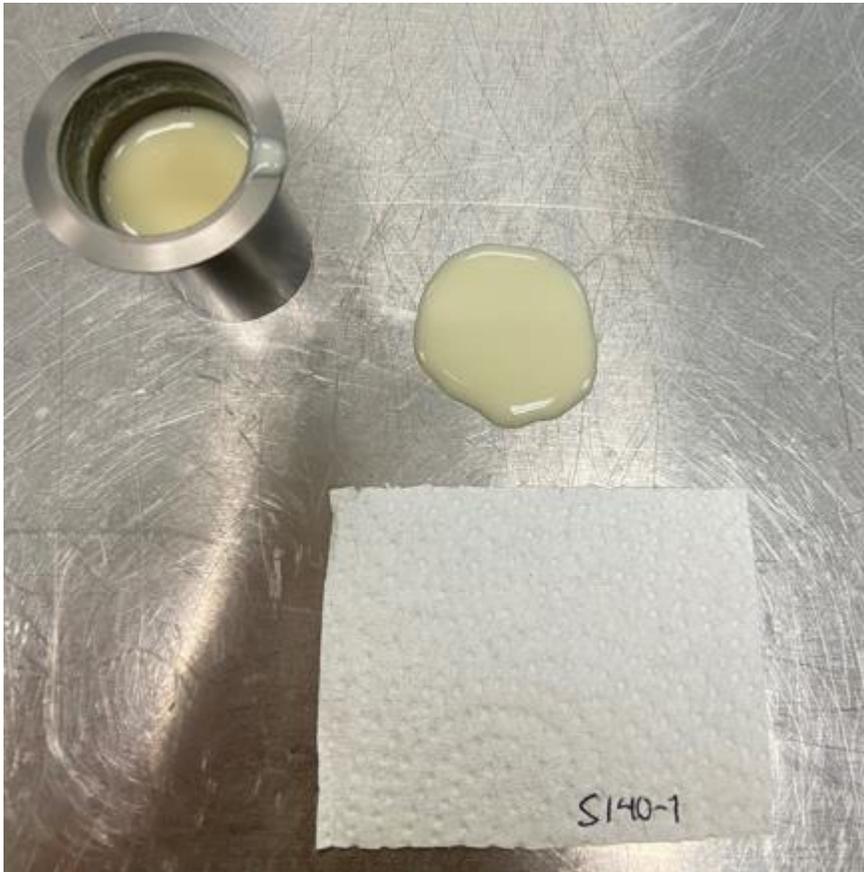
Anexo 10. Prueba capacidad emulsificante, muestra frijol crudo.



Anexo 11. Prueba viscosidad, muestra frijol extrudido a 140 °C.



Anexo 12. Prueba viscosidad, muestra garbanzo extrudido a 140 °C.



Anexo 13. Prueba viscosidad, muestra soya extrudido a 140 °C.