



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA**

**FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICO BIOLÓGICAS**

**MAESTRÍA EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA EN ALIMENTOS**

**Evaluación del Potencial Antioxidante y Antidiabético  
de Hidrolizados Proteínicos de Garbanzo  
(*Cicer arietinum* L.) Desi Extrudido**

**TESIS**

Que presenta

**IBQ. ANA PAULINA CONTRERAS AVENDAÑO**

Para obtener el Grado de

MAESTRA EN CIENCIA

Y

TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Directores de Tesis

DRA. EDITH OLIVA CUEVAS RODRÍGUEZ

DRA. JEANETT CHÁVEZ ONTIVEROS

Culiacán, Sinaloa, México

Mayo 2024



Dirección General de Bibliotecas  
Ciudad Universitaria  
Av. de las Américas y Blvd. Universitarios  
C. P. 80010 Culiacán, Sinaloa, México.  
Tel. (667) 713 78 32 y 712 50 57  
dgbuas@uas.edu.mx

## UAS-Dirección General de Bibliotecas

### Repositorio Institucional Buelna

#### Restricciones de uso

Todo el material contenido en la presente tesis está protegido por la Ley Federal de Derechos de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

Queda prohibido la reproducción parcial o total de esta tesis. El uso de imágenes, tablas, gráficas, texto y demás material que sea objeto de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente correctamente mencionando al o los autores del presente estudio empírico. Cualquier uso distinto, como el lucro, reproducción, edición o modificación sin autorización expresa de quienes gozan de la propiedad intelectual, será perseguido y sancionado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor.

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial  
Compartir Igual, 4.0 Internacional



El presente trabajo titulado “Evaluación del Potencial Antioxidante y Antidiabético de Hidrolizados Proteínicos de Garbanzo (*Cicer arietinum* L.) Desi Extrudido” se llevó a cabo en el Laboratorio de Alimentos Nutracéuticos de la Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Facultad de Ciencias Químico Biológicas, Universidad Autónoma de Sinaloa, bajo la dirección de la Dra. Edith Oliva Cuevas Rodríguez y la Dra. Jeanett Chávez Ontiveros. Fungiendo como asesores el Dr. Noé Ontiveros Apodaca y el Dr. Cuauhtémoc Reyes Moreno. Esta investigación fue financiada por el Programa de Fomento y Apoyo a la Investigación Científica (PROFAPI-2021-2022) de la Universidad Autónoma de Sinaloa. La alumna IBQ. Ana Paulina Contreras Avendaño recibió beca de estudios de posgrado por el Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) durante el periodo 2021-2023.

“Qué sentido tiene estar vivo si al menos  
no intentas hacer algo extraordinario”

- John Green

## AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad Autónoma de Sinaloa, Facultad de Ciencias Químico Biológicas y Posgrado en Ciencia y Tecnología de Alimentos** por permitirme realizar mi formación como Maestra en Ciencia y Tecnología de Alimentos.

Al **Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT)** por la beca otorgada de estudios nacional de maestría. Un gran soporte, con el cual logré culminar adecuadamente mis estudios de posgrado.

A mis directoras de tesis: **Dra. Edith Oliva Cuevas Rodríguez y Dra. Jeanett Chávez Ontiveros**, por brindarme un espacio en su área de investigación, gracias por sus enseñanzas, consejos y su gran apoyo durante este proceso. ¡Las admiro mucho!

A las **Dras.: Ada Keila Milán Noris, Liliana León López, Eslim Sugey Sandoval Sicaños y Daniela Guardado Félix**, por su asesoría y apoyo durante el transcurso de la elaboración de este proyecto.

A mis compañeras y amigas de laboratorio **Fedra Carolina López Villa, Samantha Ochoa Sandoval y Valeria Salazar Montoya** por estar conmigo en los buenos y malos momentos, aprecio mucho su amistad. Las quiero mucho.

A mis **compañeros y amigos del Laboratorio de Alimentos Nutraceúticos “Lab 18”**, por todas las enseñanzas, consejos y buenos momentos que compartimos juntos. Gracias por su amistad.

A mis compañeros de maestría: **Edoardo Gastelum Chairez, Ana Karen Carrillo Cañedo y Anahí Martínez Romero**, gracias por estar siempre para mí, por sus consejos y gran amistad.

A **mi familia: padres, hermanas y sobrina**; gracias por ser parte de mi crecimiento profesional y personal. Agradezco su apoyo, amor y comprensión. Son mi motivación y ganas de salir adelante.

## ÍNDICE

	<b>Página</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b>	v
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	vi
<b>I RESUMEN</b>	1
<b>ABSTRACT</b>	3
<b>II INTRODUCCIÓN</b>	5
<b>III REVISIÓN DE LITERATURA</b>	7
<b>A ESTRÉS OXIDANTE</b>	7
<b>B ENFERMEDADES CRÓNICO DEGENERATIVAS (ECD)</b>	8
1 Infamación	9
a Infamación aguda	10
b Infamación crónica	10
2 Cáncer	10
3 Diabetes	11
a Diabetes tipo I	11
b Diabetes tipo II	12
<b>C GENERALIDADES DEL GARBANZO</b>	12
1 Taxonomía del garbanzo	13
2 Tipos de garbanzo	13
3 Producción mundial y nacional de garbanzo	16
4 Composición química del garbanzo	16
a Carbohidratos	16
b Lípidos	21
c Vitaminas y minerales	22
d Proteínas	22
<b>D HIDRÓLISIS DE PROTEÍNAS</b>	24
1 Hidrólisis de proteínas en leguminosas	25

E PROPIEDADES NUTRACÉUTICAS DE GARBANZO	26
1 Péptidos con actividades biológicas en garbanzo	26
a Péptidos con actividad antioxidante	26
b Péptidos con actividad antiinflamatoria	29
c Péptidos con actividad antidiabética	30
F TECNOLOGÍAS DE PROCESAMIENTO DE GARBANZO	32
1 Cocción	32
2 Extrusión	34
a Efecto sobre el proceso de extrusión en la composición nutricional	38
1) Efecto sobre vitaminas y minerales	38
2) Efecto sobre proteínas	39
b Características nutraceuticas de hidrolizados proteínicos obtenidos a partir de granos de cereales y leguminosas extrudidas	40
<b>IV JUSTIFICACIÓN</b>	43
<b>V HIPÓTESIS</b>	44
<b>VI OBJETIVOS</b>	45
A OBJETIVO GENERAL	45
B OBJETIVOS ESPECÍFICOS	45
<b>VII MATERIALES Y MÉTODOS</b>	46
A MATERIALES	46
B MÉTODOS	46
1 Obtención de harinas a partir de granos de garbanzo desi	46
2 Proceso de extrusión	46
3 Composición química de harinas de garbanzo crudo y extrudido	48
a Humedad	48
b Lípidos	48
c Minerales	49
d Proteínas	49
e Carbohidratos	49
4 Evaluación de propiedades tecnofuncionales en harinas de garbanzo crudo y extrudido	49



a Índice de absorción en agua (IAA)	49
b Índice de solubilidad de agua (ISA)	50
c Índice de absorción de aceite (IAAc)	50
d Índice de dispersabilidad	51
e Capacidad de formación de espuma (CFE) y estabilidad de espuma (EE)	51
f Capacidad de emulsión (CE) y estabilidad de emulsión (EEm)	52
5 Obtención de concentrados proteínicos a partir de harinas de garbanzo desi crudo y extrudido	52
6 Obtención de hidrolizados proteínicos con enzimas digestivas	54
a Cuantificación de proteína soluble	54
b Separación electroforética de proteínas por SDS-PAGE	55
c Grado de hidrólisis (GH)	55
7 Determinación de la capacidad antioxidante química de harinas de garbanzo desi (crudo, extrudido), de sus concentrados proteínicos e hidrolizados	56
a Método ABTS	56
b Método ORAC	57
c Método DPPH	58
8 Evaluación del potencial antidiabético de concentrados proteínicos y sus hidrolizados de garbanzo desi crudo y extrudido	59
a Actividad inhibitoria de $\alpha$ -glucosidasa	59
1) Concentración media inhibitoria (IC50)	59
b Actividad inhibitoria de $\alpha$ -amilasa	60
9 Análisis estadístico	61
<b>VIII RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	62
A EFECTO DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN SOBRE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE HARINA DE GARBANZO DESI CRUDO Y EXTRUDIDO	62

B EFECTO DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN SOBRE LAS PROPIEDADES TECNOLÓGICAS EN HARINA DE GARBANZO DESI CRUDO Y EXTRUDIDO	65
C CONCENTRACIÓN DE PROTEÍNAS OBTENIDAS DE HARINA DE GARBANZO DESI CRUDO Y EXTRUDIDO	69
D EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA EXTRUSIÓN E HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA DE GARBANZO DESI SOBRE LA PROTEÍNA SOLUBLE, EL PERFIL DE PROTEÍNAS Y GRADO DE HIDRÓLISIS	71
1 Proteína soluble	71
2 Perfil electroforético de proteínas (SDS-PAGE)	73
3 Grado de hidrólisis (GH)	76
E CAPACIDAD ANTIOXIDANTE (ABTS, ORAC Y DPPH) DE CONCENTRADOS E HIDROLIZADOS PROTEÍNICOS DE GARBANZO CRUDO Y EXTRUDIDO	79
F POTENCIAL ANTIDIABÉTICO DE CONCENTRADOS E HIDROLIZADOS PROTEÍNICOS DE GARBANZO DESI CRUDO Y EXTRUDIDO	83
<b>IX CONCLUSIONES</b>	88
<b>X BIBLIOGRAFÍA</b>	89
ABREVIATURAS	103

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro</b>	<b>Descripción</b>	<b>Página</b>
1	Taxonomía del garbanzo	14
2	Producción a nivel mundial de garbanzo en el año 2021	17
3	Producción a nivel nacional de garbanzo en el año 2021	18
4	Composición proximal del garbanzo	19
5	Actividades biológicas de péptidos en garbanzo	28
6	Composición química de harina de garbanzo desi crudo y extrudido	63
7	Evaluación de características tecnofuncionales en harinas de garbanzo desi crudo y extrudido	66
8	Contenido de proteína soluble en harina, concentrados e hidrolizados proteínicos de garbanzo desi crudo y extrudido	72
9	Evaluación de la capacidad antioxidante de concentrados e hidrolizados proteínicos de garbanzo crudo y extrudido	80
10	Actividad inhibitoria de $\alpha$ -glucosidasa y $\alpha$ -amilasa de concentrados e hidrolizados proteínicos de garbanzo desi crudo y extrudido	84

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Descripción</b>	<b>Página</b>
1	Tipos de garbanzo	15
2	Alimentos funcionales elaborados de garbanzo desi y kabuli	33
3	El extrusor y sus partes	36
4	Genotipo de garbanzo desi ICC 5383 utilizado en este estudio	47
5	Perfil electroforético de proteínas (SDS-PAGE)	74
6	Grado de hidrólisis de concentrados proteínicos de garbanzo tratados secuencialmente con las enzimas pepsina (0-60 min) y pancreatina (60-180 min)	78
7	Determinación del IC <sub>50</sub> de la enzima $\alpha$ -glucosidasa de concentrados e hidrolizados de garbanzo desi crudo y extrudido	86

## I RESUMEN

Las enfermedades crónicas no transmisibles (cardiovasculares, cáncer, diabetes) pueden durar años y ser ocasionadas por cuestiones genéticas, fisiológicas, conductuales y ambientales, además de dietas no equilibradas, afectando a una gran cantidad de gentes a nivel mundial. Por lo que, últimamente se ha gestionado mejorar los hábitos alimenticios para prevenir o controlar dichos padecimientos promoviendo el consumo de alimentos funcionales, los cuales se caracterizan por poseer compuestos que además de nutrir, proporcionan un beneficio a la salud. El garbanzo, es una buena fuente de nutrientes como carbohidratos, vitaminas, minerales y proteínas. En genotipos desi y kabuli se han identificado péptidos obtenidos por hidrólisis enzimática con actividades biológicas como antihipertensiva, antioxidante, antiinflamatoria, entre otras. Por ello, se sugiere al garbanzo como materia prima para el desarrollo o elaboración de alimentos funcionales. Por otro lado, el proceso de extrusión es una tecnología de alimentos la cual permite la elaboración de productos con mejor retención de nutrientes, incremento de la digestibilidad y valor biológico de las proteínas. Sin embargo, existen pocos estudios que hagan referencia a péptidos de granos procesados con actividades biológicas. Por lo que, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el potencial antioxidante y antidiabético de hidrolizados proteínicos de garbanzo desi extrudido. Harinas crudas y extrudidas (TE, 150°C; VT, 240 rpm) del genotipo de garbanzo desi ICC 5383 fueron obtenidas y se les evaluó la composición química y propiedades tecnofuncionales. Así mismo, se elaboraron concentrados proteínicos, los cuales se hidrolizaron con pepsina y pancreatina; a los hidrolizados se les evaluó proteína soluble y grado de hidrólisis; además, se realizó una separación

electroforética de proteínas, se determinó la capacidad antioxidante (DPPH, ABTS, ORAC) y antidiabética ( $\alpha$ -glucosidasa y  $\alpha$ -amilasa) de los hidrolizados. La cantidad de proteína soluble fue mayor ( $p \leq 0.05$ ) en el hidrolizado de garbanzo crudo (HPC, 525.29 mg/ g) que relación con el de garbanzo extrudido (HPE, 194.61 mg/ g). El grado de hidrólisis (GH) incrementó a mayor tiempo de hidrólisis obteniendo un porcentaje elevado de GH en la muestra cruda (32.43 %) que en la extrudida (20.05 %). En la separación electroforética de proteínas se observó un menor patrón de bandas en los hidrolizados que en las harinas y concentrados proteínicos, corroborando la hidrólisis completa de proteínas y la generación de péptidos de bajo peso molecular. La capacidad antioxidante incrementó ( $p \leq 0.05$ ) por el método de ABTS 14 veces en los HPC y 4.8 veces en los HPE en comparación con sus respectivos concentrados, ORAC 8.2 veces en HPC y 4.5 veces en HPE y, en DPPH alrededor de 2.3 veces en HPC y 1.3 veces en HPE veces. En cuanto al potencial antidiabético, el HPE mostró una inhibición de  $\alpha$ -glucosidasa del 68 % y de  $\alpha$ -amilasa de 55.13 %. Dichos resultados sugieren que hidrolizados proteínicos de garbanzo desi extrudido poseen potencial antioxidante y antidiabético, por lo que podrían emplearse en la elaboración de ingredientes o nuevos alimentos funcionales.

**Palabras clave:** Garbanzo, Extrusión, Hidrolizados, Antioxidante, Antidiabético.

## ABSTRACT

Chronic non-communicable diseases (cardiovascular, cancer, diabetes) can last for years and are caused by genetic, physiological, behavioral, and environmental issues, as well as unbalanced diets, affecting many people worldwide. In recent years, efforts have been made to improve eating habits to prevent or control these conditions by promoting the consumption of functional foods, which are characterized by having compounds that, in addition to nourishing, provide a health benefit. Chickpeas are a good source of nutrients such as carbohydrates, vitamins, minerals, and proteins. In desi and kabuli genotypes, peptides obtained by enzymatic hydrolysis have been identified with biological activities such as antihypertensive, antioxidant, anti-inflammatory, among others. For this reason, chickpea is suggested as a raw material for the development or preparation of functional foods. On the other hand, the extrusion process is a food technology which allows the production of products with better nutrient retention, increased digestibility, and biological value of proteins. However, there are few studies that refer to peptides from processed grains with biological activities. Therefore, the objective of this study was to evaluate the antioxidant and antidiabetic potential of extruded desi chickpea protein hydrolysates. Raw and extruded flours (TE, 150°C; VT, 240 rpm) of the desi chickpea genotype ICC 5383 were obtained and their chemical composition and techno-functional properties were evaluated. Likewise, protein concentrates were prepared, which were hydrolyzed with pepsin-pancreatin; the soluble protein and degree of hydrolysis were determined in the hydrolyzates. In addition, an electrophoretic separation of proteins and the evaluation of the antioxidant (DPPH, ABTS, ORAC), and antidiabetic ( $\alpha$ -glucosidase and  $\alpha$ -

amylase) capacity of the hydrolysates were realized. The soluble protein content was higher ( $p \leq 0.05$ ) in raw chickpea hydrolysate (HPC, 525.29 mg/ g) than in extruded chickpea hydrolysate (HPE, 194.61 mg/g). The degree of hydrolysis (GH) increased with a longer hydrolysis time, obtaining a higher percentage of GH in the crude sample (32.43 %) than in the extruded sample (20.05 %). In the electrophoretic separation of proteins, a lower band pattern was observed in hydrolysates than in flours and protein concentrates, corroborating the complete hydrolysis of proteins and the generation of low molecular weight peptides. Antioxidant capacity increased ( $p \leq 0.05$ ) by the ABTS method 14-fold in HPCs and 4.8-fold in HPEs compared to their respective concentrates, ORAC 8.2-fold in HPC and 4.5-fold in HPE, and in DPPH about 2.3-fold in HPC and 1.3-fold in HPE times. In terms of antidiabetic potential, HPE showed an inhibition of  $\alpha$ -glucosidase of 68% and  $\alpha$ -amylase of 55.13%. These results suggest that extruded desi chickpea protein hydrolysates have antioxidant and antidiabetic potential, so they could be used in the production of ingredients or new functional foods.

**Keywords:** Chickpea, Extrusion, Hydrolyzed, Antioxidant, Antidiabetic.



## II INTRODUCCIÓN

En la actualidad, los mexicanos nos hemos enfrentado con diversos retos como lo es el control de enfermedades crónico-degenerativas (ECD) o enfermedades no transmisibles, sin embargo, el conocimiento de estas aun no es tan amplio. Por lo cual existe la iniciativa de mejorar los hábitos alimenticios consumiendo alimentos funcionales los cuales además de aportar nutrientes aportan un beneficio extra a nuestro organismo, algunos de estos alimentos son las leguminosas como frijol, lenteja y garbanzo.

Además, el garbanzo es la tercera leguminosa más cultivada en el mundo. En el año 2021 se produjeron alrededor de 16 millones de toneladas de garbanzo a nivel mundial, ocupando México el octavo lugar con 171,967.76 toneladas siendo Sinaloa el primer productor a nivel nacional con 120,614.12 mil toneladas aproximadamente (FAOSTAT 2023).

A nivel mundial, se han estudiado dos genotipos de garbanzo, tipo desi (grano pequeño de coloraciones café-negro) y tipo kabuli (grano más grande de coloración blanco o crema). El genotipo desi es utilizado principalmente para alimentar el ganado en México. El garbanzo presenta un gran valor nutricional debido a su composición química, como carbohidratos, fibra, minerales, compuestos bioactivos y proteína de alta calidad. Estos últimos compuestos pueden poseer actividades biológicas como antioxidante, antiinflamatoria, antihipertensiva, hipoglucemiante que podrían ayudar a reducir algunas de las enfermedades crónico-degenerativas (Milán-Noris y col 2019; Real Hernandez y Gonzalez de Mejia 2019; Yegrem 2021).

En la actualidad existen diversas formas de procesar los granos de leguminosa, como son germinación, cocción y extrusión para enriquecer o fortificar dicha semilla. La extrusión es un proceso de cocción de alta temperatura, pero de corto tiempo, el cual combina distintas operaciones unitarias como el mezclado, la cocción, el amasado y moldeado, mejorando o evitando que haya pérdidas de nutrientes (Betteridge 2000; Bressani 2016)

Aunque los mecanismos exactos de cómo los compuestos presentes en el garbanzo pueden colaborar a disminuir los síntomas asociados con varias enfermedades crónicas-degenerativas. Los péptidos con actividades biológicas son polímeros de aminoácidos generados de hidrolizar proteínas, los cuales consisten en el rompimiento de enlaces peptídicos, estos se encargan de unir aminoácidos que conforman las proteínas para mejorar tanto propiedades fisicoquímicas como funcionales y sensoriales de las proteínas nativas sin afectar el valor nutricional, los péptidos se encargan de producir bioactividades relativamente desconocidas producidas, a partir de hidrólisis de proteínas en diversas leguminosas como lo es el garbanzo actualmente siguen siendo estudiados debido a que pueden ejercer beneficios sobre la salud por lo que las proteínas podrían desempeñar un papel importante en este tema (Real Hernandez y Gonzalez de Mejia 2019).

Hoy en día, se ha tratado de cambiar estilos de alimentación con alimentos funcionales como lo son los granos como el frijol, lenteja y garbanzo, debido a sus características nutricionales y nutraceuticos. Por tal motivo, el objetivo de esta investigación consistió en evaluar el potencial antioxidante y antidiabético de hidrolizados proteínicos de garbanzo desi extrudido.

### III REVISIÓN DE LITERATURA

#### A ESTRÉS OXIDANTE

El proceso bioquímico de oxidación se caracteriza por la pérdida de electrones, lo cual es fundamental para el ser vivo debido a su participación en los procesos de obtención de energía celular. Sin embargo, un exceso de oxidación a nivel celular es dañino para el organismo provocando estrés oxidante, este es definido como una perturbación en el equilibrio entre la producción de especies reactivas de oxígeno (ROS) como radicales libres y metabolitos reactivos, y las defensas antioxidantes como su eliminación por diferentes mecanismos protectores, dicho desequilibrio causa daño en biomoléculas (lípidos, proteínas, carbohidratos y ácidos nucleicos), y en células importantes en el organismo provocando una alteración de procesos celulares (Elejalde Guerra 2001; Burton y Jauniaux 2011).

Un exceso de estrés oxidante modifica el vínculo estructura-función en un sistema, grupo especializado y tipo de oxígeno. Las ROS provocan peroxidación de lípidos, variación en proteínas y en el ácido desoxirribonucleico (ADN). Los agentes oxidantes son denominados radicales libres, estos son definidos como una especie química que posee uno o más electrones no apareados generados a partir de diversos procesos bioquímicos, lo cual lo hace un compuesto muy poco estable capaz de producir diferentes radicales libres mediante reacciones químicas subsecuentes. Una vez generados, se estabilizan al ganar otro electrón quizá uniéndose a otro radical, o bien al ser oxidados o reducidos por otra estructura molecular adyacente (Betteridge 2000; Pietta 2000; Elejalde Guerra 2001).

Hoy en día existen diversas enfermedades que se encuentran íntimamente relacionadas con el aumento del estrés oxidante y la producción de radicales libres. Por lo que hoy en día existen diferentes tratamientos como terapias antioxidantes y dietas ricas o enriquecidas con alimentos que contengan antioxidantes debido a que ayudan a prevenir o al menos disminuir el deterioro funcional orgánico originado por un exceso de estrés oxidante y enfermedades relacionadas (Elejalde Guerra 2001).

## **B ENFERMEDADES CRÓNICO DEGENERATIVAS (ECD)**

Las enfermedades crónico-degenerativas han sido la principal causa de muerte en el mundo desde 1990, de acuerdo con la Organización Mundial de la Salud (OMS) cada año se producen 17 millones de muertes por ECD antes de los 70 años (OMS 2023).

Una ECD ha sido definida como una enfermedad “no contagiosa”, de larga duración, la cual progresa lentamente produciendo una serie de altas raciones fisiopatológicas amplias, complejas y profundas; son desarrolladas principalmente por factores genéticos, fisiológicos, ambientales y de comportamiento. Es de gran importancia mencionar que las conductas que las personas pueden modificar tales como el uso de tabaco, falta de ejercicio, dieta insalubre, ingesta excesiva de alcohol, etc., incrementan la posibilidad de padecer este tipo de enfermedades. La mayoría de los fallecimientos por enfermedades crónicas ocurren en países subdesarrollados, pero también son problema de salud en los países desarrollados. Dichas enfermedades se conocen ya desde hace un tiempo. Sin embargo, los conocimientos

actuales aún no son suficientes para sus estudios, debido a la incidencia en la población general que es alta y su frecuencia se eleva al grado de epidemia, por lo que dicha situación es de gran preocupación para sistemas de salud ya que los costos son elevados (Barba Evia 2018; Anderson y Durstine 2019).

Las ECD afectan a toda la población desde niños hasta adultos mayores, por lo que es de gran preocupación ya que en un futuro podría dañar la calidad de vida del ser humano, debido a que dichas enfermedades pueden facilitar el desarrollo de otras enfermedades, algunas simples, otras más complejas. Entre las ECD más reconocidas se encuentra: inflamación, cáncer y diabetes (Montoya-Rodríguez y col 2015).

## **1 Inflamación**

La inflamación es una respuesta natural y esencial a la pérdida de homeostasis, comúnmente asociado con el cáncer, este implica la interacción de varias células inmunitarias e inflamatorias, quimiocinas, citocinas y mediadores proinflamatorios (marcadores de inflamación) que pueden conducir a señales dirigidas a la proliferación de crecimiento e invasión de células tumorales ocasionando una respuesta local al daño celular. El proceso inflamatorio puede ocurrir en un periodo corto de tiempo (inflamación aguda) o duración prolongada hacia la cronicidad (meses, años o toda la vida) llamada inflamación crónica ocasionando enfermedades como la diabetes tipo 2. Sin embargo, tener una dieta saludable se ha asociado con bajas concentraciones de marcadores de inflamación observándose que las vitaminas C, y E, además de los carotenoides disminuyen la concentración de dichos marcadores, mientras otros nutrientes como los lípidos causan efectos opuestos (García-Casal y Pons-Garcia 2014; Abdulkhaleq y col 2018; Mazorra-Carrillo y col 2021).

### **a Inflamación aguda**

Este tipo de inflamación ocurre en un corto periodo presentándose principalmente exudación de líquidos y localización de leucocitos (neutrófilos) en la zona del daño. Comprende la reacción inmediata al agente injuriante y puede ser inicializada por agentes injuriantes de diversa naturaleza: calor, bacterias, virus, células necróticas, partículas inertes, entre ellos diferentes complejos inmunes, etcétera (Landskron y col 2014).

### **b Inflamación crónica**

La inflamación crónica es de mayor duración y tiempos más prolongados, además es caracterizada por la manifestación de linfocitos, macrófagos, la propagación de tejido conectivo y de vasos sanguíneos. Presenta una menor sintomatología que la de inflamación aguda. Este tipo de inflamación se ha asociado con enfermedades crónicas como aterosclerosis y cáncer (Cam y de Mejía 2012; Landskron y col 2014).

## **2 Cáncer**

El cáncer, enfermedad crónico-degenerativa, que causa afectación en la población alrededor del mundo. La palabra “cáncer” ha sido empleada durante muchos años atrás para nombrar a un amplio grupo de enfermedades, las cuales afectan al organismo. La característica principal del cáncer es la rápida multiplicación de células anormales extendidas fuera de sus límites habituales y pueden invadir partes del cuerpo e incluso propagarse a otros órganos, dicho proceso es llamado “metástasis” la cual es la principal causa de muerte (Sánchez N. 2013; OMS 2023). Dentro de los

elementos de riesgo destacan el uso y abuso de tabaco y alcohol, una mala alimentación, falta de ejercicio físico, contaminación ambiental, entre otras enfermedades no transmisibles (de Martel y col 2020).

Métodos oportunos de detección de cáncer y terapias de vanguardia contra el mismo han logrado una disminución en su prevalencia en países desarrollados, por lo tanto los pacientes tienen una calidad de vida mejor. La descripción de los genes, proteínas y el microambiente que caracteriza a los tumores entrega información específica para facilitar el diagnóstico y pronóstico, y sobre todo entregar el tratamiento más eficaz, aplicando una medicina personalizada (Sánchez N. 2013).

### **3 Diabetes**

La diabetes, es otra de las enfermedades crónico-degenerativas que más ha afectado a la población mundial. De acuerdo con la OMS, existen más de 220 millones de personas que padecen diabetes, prediciendo un aumento mayor al 30% para el 2030. Esta enfermedad es presentada cuando el páncreas no secreta de manera eficaz la insulina (hormona encargada de regular la concentración de glucosa) o bien, el organismo no la emplea adecuadamente pudiendo provocar daño en órganos y sistemas del organismo, principalmente vasos y nervios sanguíneos. Actualmente, la diabetes es clasificada como tipo I y tipo II (Arnal y col 2023; OMS 2023).

#### **a Diabetes tipo I**

La diabetes tipo I (antes denominada insulina-dependiente o de inicio en la niñez o juvenil) es caracterizada por una baja generación de insulina o incapacidad del páncreas de secretar insulina debido a la destrucción de células beta, por lo que el

organismo requiere la administración diaria de dicha hormona, según estudios anteriores este tipo de diabetes tiene una prevalencia del 5 al 10%. Entre los síntomas principales destacan la excreción excesiva de orina, saciedad constante, sed, pérdida de peso, cambios de visión y fatiga (Kehinde y Sharma 2020; OMS 2023).

## **b Diabetes tipo II**

Este tipo de diabetes es diferenciado por un elevado nivel de glucosa en la sangre impidiendo el uso de insulina adecuado. Este tipo de diabetes puede ser muy dañina si no se trata, y los principales factores que contribuyen a este tipo de ECD es el sobrepeso, no realizar suficiente actividad física y herencia genética (Kehinde y Sharma 2020; OMS 2023).

## **C GENERALIDADES DEL GARBANZO**

Las leguminosas son cultivos alimenticios caracterizados por su buen contenido nutricional, debido a que son ricas en proteínas de buena calidad y aminoácidos esenciales. El garbanzo posee una buena cantidad de carbohidratos y proteínas; sin embargo, sus proteínas son deficientes en aminoácidos que poseen azufre (metionina, cisteína) y de triptófano. Esta leguminosa podría disminuir el colesterol debido a su contenido de fibra soluble. También contiene algunos minerales de importancia (calcio, fósforo, magnesio, hierro, potasio), vitaminas (ácido ascórbico, tiamina, niacina, etc.) y ácidos grasos insaturados (linoleico, oleico). Por lo que, se ha distinguido al garbanzo como un alimento nutracéutico ya que además de ser rico nutricionalmente, ciertos componentes que posee realizan funciones importantes que repercuten



positivamente en la salud de las personas que lo consumen (de Almeida Costa y col 2006; Milán-Carrillo y col 2007; Yegrem 2021).

## 1 Taxonomía del garbanzo

El garbanzo (*Cicer arietinum* L.) pertenece a la familia *Fabaceae*, subfamilia *Papilionaceae*, tribu *Cicerae* y género *Cicer* (**Cuadro 1**). *Cicer* consta de 10 especies anuales y 36 perennes; y *Cicer arietinum* es la única especie cultivada y domesticada en todo el mundo (Kaur y Singh 2007; Arriagada y col 2022).

Esta leguminosa ha sido cultivado desde hace más de 10,000 años; fue domesticada en Medio Oriente y cultivada en la India, Cuenca Mediterránea y Etiopía hasta extenderse a América y Australia (Aguilar-Raymundo y Vélez-Ruiz 2013).

## 2 Tipos de garbanzo

Dentro de los genotipos de garbanzo más empleados destacan el tipo desi (India) y el tipo kabuli (región mediterránea). Las semillas de tipo desi tienden a ser semillas angulares más pequeñas con cubierta de semillas gruesas, las cuales varían de color desde bronceado claro y moteado hasta negro sólido; en cambio las semillas de tipo kabuli tienden a ser de un tamaño más grande y arrugadas que varían en color desde blanco a crema (**Figura 1**) (Aguilar-Raymundo y Vélez-Ruiz 2013; Yegrem 2021).

**Cuadro 1.** Taxonomía del garbanzo

<b>Categoría</b>	
Dominio	Eukarya
Reino	Plantae
Filo	Espermatofita
Subfilo	Angiospermas
Clase	Dicotiledóneas
Orden	Fabales
familia	Fabaceae
Subfamilia	Papilionaceae
Tribu	<i>Cicereae</i>
Género	<i>Cicer</i>
Especie	<i>Arietinum</i>

Sajja y col (2017); Kaur y Prasad (2021)

a)

b)



**Figura 1. Tipos de garbanzo.** a) Kabuli, granos de color crema; b) Desi, granos de color café.

### **3 Producción mundial y nacional de garbanzo**

El cultivo de garbanzo ocupa el tercer lugar dentro de las leguminosas en el mundo. En el 2021 se produjeron alrededor de 15,871,845.65 toneladas, obteniendo el primer lugar como productor la India aportando el 75% total de la producción, siguiendo Australia y Etiopía, mientras que México ocupa el octavo lugar con una producción de 171,967.76 toneladas (**Cuadro 2**) (FAOSTAT 2023).

A nivel nacional, Sinaloa ocupa el primer lugar con el 70% de la producción, seguido de Michoacán y Sonora (**Cuadro 3**) (SIAP-SADER 2023). Cabe destacar que la producción de garbanzo en México es principalmente para exportación debido a sus buenas características.

### **4 Composición química del garbanzo**

Las leguminosas son consideradas como una fuente importante de nutrientes como carbohidratos, lípidos, proteínas, vitaminas y minerales; su composición química varía de acuerdo con el tipo de planta, condiciones de cultivo, región donde fue sembrada y etapas de madurez del grano. La mayor parte de nutrientes son encontrados en el cotiledón, el cual representa casi el 90 % de la semilla (Dueñas y col 2006; Pasqualone y col 2020).

#### **a Carbohidratos**

Las leguminosas presentan un contenido inferior de carbohidratos en comparación con los cereales (70-80 %). En semillas de garbanzo, los carbohidratos constituyen alrededor de 47.4 a 66.9 % en el tipo desi y de 47.6 a 66.9 % en tipo kabuli, aproximadamente (**Cuadro 4**) (Grasso y col 2022).

**Cuadro 2.** Producción a nivel mundial de garbanzo en el año 2021

---

<b>País</b>	<b>Producción (ton)</b>
India	11,910,000.00
Australia	876,468.13
Etiopía	478,211.87
Turquía	475,000.00
Myanmar	467,340.51
Federación de Rusia	316,840.40
Pakistán	233,934.00
México	171,967.76
Irán	168,142.52
Estados Unidos de América	129,770.00
Otros países	644,170.46
<b>Total</b>	<b>15,871,845.65</b>

---

FAOSTAT (2023)

**Cuadro 3.** Producción a nivel nacional de garbanzo en el año 2021

<b>Entidad Federativa</b>	<b>Producción (ton)</b>
Sinaloa	120,614.12
Michoacán	21,620.61
Sonora	12,656.39
Guanajuato	9,936.61
Baja California Sur	3,264.00
Jalisco	2,766.09
Otras Entidades	1,109.94
<b>Total</b>	<b>171,967.76</b>

SIAP-SADER (2023)

**Cuadro 4.** Composición proximal del garbanzo

---

<b>Componente (% , bs)<sup>1</sup></b>	<b>Tipo de Garbanzo</b>	
	<b>Desi</b>	<b>Kabuli</b>
Proteína	16.10-26.70	19.90-25.50
Carbohidratos	47.40-66.90	47.60-66.90
Grasas	3.10-4.93	4.60-5.67
Minerales	2.70-3.60	2.80-3.42

---

<sup>1</sup>Porcentaje en base seca. Grasso y col (2022)

La principal clase de carbohidratos en garbanzo son disponibles y no disponibles. Los carbohidratos disponibles son todos aquellos que pueden ser digeridos por acción enzimática en el intestino delgado y se componen principalmente de monosacáridos y disacáridos. Entre los monosacáridos destacan glucosa en un contenido de 0.7 %, fructosa en 0.25 %, ribosa en 0.1 % y galactosa en 0.05 %; en disacáridos, se tienen maltosa en un 0.6 % y sacarosa en un 1–2 %. En cuanto a los carbohidratos no disponibles destacan los oligosacáridos (rafinosa, estaquiosa, verbascosa y ciceritol), almidón resistente y pectina. Los oligosacáridos son todos aquellos carbohidratos que no pueden ser digeridos ni absorbidos por el sistema digestivo, por lo que son fermentados por las bacterias del colon provocando flatulencia (Aguilar-Raymundo y Vélez-Ruiz 2013; Kaur y Prasad 2021; Yegrem 2021).

El almidón es el principal polisacárido en semillas de garbanzo y oscila entre 30.8 y 37.9 % de la materia seca, donde el 35 % de almidón total es considerado almidón resistente y el 65 % restante almidón disponible (Kaur y Prasad 2021). El principal componente del almidón en garbanzo es la amilosa, quien se encarga de reducir el índice glicémico. El almidón resistente tiene una función similar a la fibra presente en los alimentos, ya que llega al intestino y se resiste a la digestión intestinal manteniéndose en el colon de los seres humanos, donde son fermentados por las bacterias presentes formando metano, carbono, dióxido de carbono y ácidos grasos de cadena corta, además actúa como un probiótico (Aguilar-Raymundo y Vélez-Ruiz 2013; Kaur y Prasad 2021; Yegrem 2021).



El garbanzo tiene en su composición polisacáridos diferentes al almidón, estos pueden ser soluble o insoluble. El tipo soluble está integrado de hemicelulosa en un rango de 3.5 a 9 % y de sustancias pécticas de 1.5 a 4 %; este tipo de polisacárido es digerido de forma lenta ya que presenta una constitución higroscópica y pegajosa. Los polisacáridos considerados como insolubles forman parte de la pared celular como la celulosa y hemicelulosa. El garbanzo tipo kabuli contiene menor cantidad de celulosa que el tipo desi, dicha diferencia se debe al grosor de su testa (Wood y Grusak 2007).

## **b Lípidos**

El contenido de lípidos presente en leguminosas varía de acuerdo la variedad de semillas y genotipo. Leguminosas como frijol y lenteja tienen un porcentaje menor de lípidos comparado con el garbanzo (6.04 g/100 g). La proporción de lípidos es caracterizada por presentar un alto contenido de triglicéridos, con un alto contenido en ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados (Kaur y Prasad 2021).

El contenido de lípidos de garbanzo desi es de 2.9-7.4 % y de garbanzo kabuli de 3.4-8.8 %. La mayoría de los lípidos son de ácidos grasos poliinsaturados (62-67 %), de monoinsaturados (19-26 %) y de grasas saturadas (12-14 %). El ácido linoleico es el principal en garbanzo, en tipo desi este oscila entre 46-62 % y en tipo kabuli del 16-56 %; el ácido oleico (32.6 %) también es de los más abundantes en garbanzo, cabe mencionar que la cantidad de ácido linoleico y oleico es menor en leguminosas como frijoles, lentejas y guisantes (Aguilar-Raymundo y Vélez-Ruiz 2013; Kaur y Prasad 2021).

### **c Vitaminas y minerales**

El consumo de garbanzo es esencial para obtener una buena fuente de micronutrientes como vitaminas y minerales, su contenido oscila de acuerdo el genotipo del grano.

Esta semilla contiene minerales como manganeso, cobre, y zinc; y macronutrientes como calcio en una proporción de 40 a 267 mg/ 100 g), potasio de 220 a 333 mg/ 100 g, fósforo de 159 a 930 mg/ 100 g y azufre d 160 a 200 mg/ 100 g). Dicha fluctuación puede deberse a las condiciones de siembra y tipo de garbanzo. Además, el garbanzo contiene vitaminas hidrosolubles y liposolubles. Del grupo del complejo B destacan la riboflavina (vitamina B2) que se encuentra en pequeñas cantidades, ésta se activa después de ser absorbida en el intestino delgado; niacina (vitamina B3) se asocia con el contenido de proteínas, por lo que alimentos ricos en proteína son fuentes importantes de niacina; la vitamina B6 se presenta en tres formas químicas, piridoxina, piridoxal y piridoxamina (Aguilar-Raymundo y Vélez-Ruiz 2013; Kaur y Prasad 2021). También el grano de garbanzo posee vitamina E (13.7 mg/ 100 g) (Abbo y col 2005).

### **d Proteínas**

Las leguminosas son conocidas por su alto contenido proteico y bajo costo. El contenido de proteínas en leguminosas varía según la especie, y oscila entre 20-35 %, aunque puede presentarse un contenido superior en algunas semillas (Raya-Pérez y col 2014; Kaur y Prasad 2021).

En garbanzo, el contenido de proteína varía significativamente cuando se considera el peso de grano seco, esta oscila entre 16.1-26.7 % en desi y 19.9-25.5 % en kabuli; cuando el grano es descascarillado su contenido incrementa (25.3-28.9 %), es importante mencionar que la calidad y biodisponibilidad de proteína en garbanzo resulta ser mejor que otras leguminosas como frijol negro (*Vigna mungo* L.), judía mungo (*Vigna radiata* L.) y frijol rojo (*Cajanus cajan* L.); y al comparar la digestibilidad proteica entre las dos variedades de garbanzo, el tipo kabuli tiene mayor digestibilidad que el tipo desi (Aguilar-Raymundo y Vélez-Ruiz 2013; Kaur y Prasad 2021).

Estudios anteriores han reportado que la concentración de proteína también varía de acuerdo si es tipo desi o tipo kabuli que se atribuye principalmente a las diferencias en el entorno en el que se cultivan, las técnicas agronómicas utilizadas o las condiciones de almacenamiento (Aguilar-Raymundo y Vélez-Ruiz 2013; Grasso y col 2022).

El garbanzo posee proteínas de reserva, principalmente, las cuales son clasificadas de acuerdo con su solubilidad en globulinas (70 %), albúminas y glutelinas (10 - 20 %) (Aguilar-Raymundo y Vélez-Ruiz 2013). Dichas proteínas poseen un bajo contenido de metionina, cisteína y triptófano, pero alto en lisina y arginina comparado con cereales. Por esta razón, se ha empleado la combinación de leguminosas y cereales proporcionando los aminoácidos esenciales para una buena nutrición (Duranti 2006).

Las proteínas de garbanzo pueden ser aprovechadas como harina, concentrado y aislado. Hoy en día se ha recurrido a emplear concentrados y aislados proteicos, debido a que su principal componente es la proteína, la cual es extraída a partir de

diferentes metodologías, primeramente la harina es desgrasada con la finalidad de que ningún compuesto interfiera con la proteína, para posteriormente precipitar está aplicando métodos como punto isoeléctrico (Aguilar-Raymundo y Vélez-Ruiz 2013; Kaur y Prasad 2021).

## **D HIDRÓLISIS DE PROTEÍNAS**

La hidrólisis de proteínas consiste en el rompimiento de enlaces peptídicos los cuales se encargan de unir aminoácidos que conforman las proteínas para mejorar tanto propiedades fisicoquímicas como funcionales y sensoriales de las proteínas nativas sin afectar el valor nutricional. Una de las primeras ventajas de realizar hidrólisis es la de desarrollar hidrofobicidad, debido a que la proteólisis despliega las cadenas de proteínas; dicha hidrofobicidad va a depender de las características de la proteína nativa y peso molecular de los péptidos producidos. De igual manera es importante recalcar que se genera una disminución de agentes alergénicos (Sarmadi y Ismail 2010; Hafeez y col 2014; Gaviria-Acosta y col 2015; Irshad y col 2015).

Existen diversos métodos para llevar a cabo el proceso de hidrólisis, pudiendo ser esta química o enzimática. La primera utiliza ácidos y bases fuertes, suele ser más difícil de controlar y producir, debido a que se puede tener como resultado aminoácidos modificados, Tavano (2013) discute que una hidrólisis acida puede llevar a la destrucción de triptófano por el uso de HCl en un tiempo mayor de 24 horas y altas temperaturas, por otro lado la hidrólisis alcalina tiende a reducir el contenido de algunos aminoácidos como cistina, arginina, treonina, serina, isoleucina y lisina, y a su

vez formar residuos de AA como lisinoalanina o lantionina. La hidrólisis enzimática es un proceso en el cual diferentes factores como pH, temperatura, tiempo y tipo de enzima empleada son controlados, por lo general se utilizan enzimas digestivas o enzimas derivadas de microorganismos y plantas. Una de las ventajas de este tipo de hidrólisis, es que, al no ocurrir reacciones secundarias, no hay una pérdida o disminución en el valor nutricional de la fuente de proteína. De igual manera, las enzimas presentan especificidad de sustratos, lo cual ayuda a desarrollar hidrolizados con propiedades químicas y nutricionales más específicas, es por eso que, en dicho proceso deben tomarse en cuenta la combinación adecuada de enzima - fuente proteica (Tavano 2013; Hafeez y col 2014; Gaviria-Acosta y col 2015; Irshad y col 2015).

## **1 Hidrólisis de proteínas en leguminosas**

Las leguminosas, generalmente contienen un alto contenido de proteína. Actualmente se ha estado empleando diversos tipos de procesamientos como altas temperaturas, remojo, descascarillado, etc., con el fin de aumentar digestibilidad proteica y disminuir o inactivar algunos factores antinutricionales. Además, al emplear un proceso de hidrólisis se pueden generar péptidos de bajo peso molecular con diversas propiedades biológicas, incluyendo actividad antihipertensiva, antioxidante, antiproliferativo, anticoagulante, antiinflamatorio, anticancerígeno (Sarmadi y Ismail 2010; Tavano 2013; Hafeez y col 2014; Tawalbeh y col 2023).

La hidrólisis enzimática es la más empleada en leguminosas, debido a su aumento para extraer e incrementar la solubilidad en proteínas, además se encarga de romper la pared celular de las leguminosas, lo que ayuda al disolvente a penetrar

en el tejido de la leguminosa, aumentando así una mayor disolución en la proteína. Cabe recalcar que este tipo de hidrólisis ha sido el más eficaz, barato y seguro para generar hidrolizados y péptidos bioactivos en leguminosas con diversas propiedades benéficas para la salud (Tawalbeh y col 2023).

Diversos autores han hidrolizado proteínas de leguminosas utilizando distintos tipos de enzimas, como Peña-Ramos y Xiong (2002) que hidrolizaron aislados de proteína de soya cruda con alcalasa, protamex y flavourzyme; además, hidrolizaron proteína de soya sometida a calentamiento empleando las enzimas pepsina, papaína y quimiotripsina; teniendo como resultado péptidos con capacidad antioxidante. Chávez-Ontiveros y col (2022) hidrolizaron concentrados proteínicos de garbanzo kabuli crudo y extrudido con enzimas digestivas ( $\alpha$ -amilasa, pepsina, pancreatina) obteniendo péptidos con potencial antihipertensivo *in vivo*.

## **E PROPIEDADES NUTRACÉUTICAS DE GARBANZO**

### **1 Péptidos con actividades biológicas en garbanzo**

En el **Cuadro 5** se muestran estudios relacionados con péptidos y sus actividades biológicas como antioxidante, antiinflamatoria y antidiabética, Dichos péptidos se produjeron hidrolizando proteínas de garbanzo principalmente crudo utilizando diversas enzimas como alcalasa, pepsina, pancreatina, tripsina, quimiotripsina, papaína, entre otras, ya sea solas o en combinación. Es importante mencionar que los biopéptidos generan grandes beneficios a la salud como ya se ha mencionado en anteriormente.

## **a Péptidos con actividad antioxidante**

En la actualidad, el estudio de proteínas en leguminosas como el garbanzo es de gran importancia debido a que estas tienen características funcionales y nutricionales; además son una fuente abundante de péptidos bioactivos con actividad antioxidante. Diversas investigaciones han demostrado que péptidos con capacidad antioxidante podrían contrarrestar el daño generado por compuestos oxidantes como los radicales libres neutralizándolos y protegiendo al cuerpo humano de ECD. También dichos péptidos podrían usarse como antioxidantes naturales en la conservación de alimentos (Tawalbeh y col 2023).

Algunas investigaciones *in vitro* e *in vivo* han mostrado que hidrolizados proteínicos de garbanzo obtenidos ya sea de concentrados proteínicos o de fracciones proteínicas tienen actividad antioxidante, los cuales pueden usar diversos mecanismos inhibitorios como es neutralizando especies reactivas de oxígeno como radicales libres (hidroxilos, superóxido) o peróxido de hidrógeno u oxígeno singulete. Además, la actividad antioxidante de los péptidos se encuentra determinada por las propiedades físicas y químicas de las secuencias de aminoácidos por los que están formados (Zhao y col 2014). Ghribi y col (2015) hidrolizaron concentrados de proteínas de garbanzo con alcalasa encontrando que poseían una actividad antioxidante alta, por lo que realizaron su análisis por espectrometría de masa e identificaron dos péptidos antioxidantes cuyas secuencias de aminoácidos eran: DHG y VGDI. Por otro lado, Torres-Fuentes y col (2015) digirieron aislados proteínicos de garbanzo con pepsina y pancreatina determinando a sus fracciones peptídicas la actividad antioxidante celular, su poder reductor y de neutralizar radicales libres identificando varias secuencias

**Cuadro 5.** Actividades biológicas de péptidos en garbanzo

<b>Secuencia de Péptidos</b>	<b>Bioactividad</b>	<b>Enzima que hidroliza</b>	<b>Procesamiento</b>	<b>Referencia bibliográfica</b>
SREEETTEWEEEVAK FSGNRGPLVQPR IVGVSEETTTGVK	Antiinflamatoria	Pepsina, tripsina, amilasa	Cocción Germinación	Milán-Noris y col (2018)
FEL, FKN, MEE, FQKG, FEI FIE	Antioxidante	Alcalasa	Harina cruda	Quintero-Soto y col (2021)
LR PLLVE SPKAGAGK	Antidiabética	Pepsina y pancreatina	Harina cruda	Chandrasekaran y col (2020)
LTGIIP	Antioxidante	Tripsina, neutrasa, papaína, alcalasa	Harina cruda	Wali y col (2021)
FEI, FEL, FIE, FKN, FGKG, MEE	Antidiabética	Alcalasa	Harina Cruda	Quintero-Soto y col (2021)
RQSHFANAQP NRYHE	Antioxidante, antihipertensiva	Pepsina, tripsina, quimiotripsina, Alcalasa, papaína	Harina cruda	Real Hernandez y Gonzalez de Mejia (2019)
MFTTALL	Anticancerígena	Pepsina- pancreatina	Harina cruda	Sánchez-Chino y col (2019)
SPGAGKG	Antidiabética	Papaína	Germinación	Chandrasekaran y Gonzalez de Mejia (2022)



peptídicas con capacidad antioxidante entre las cuales se tienen SAEHGSLH, FVPH, ALEPDHR y TETWNPNHPEL.

Quintero-Soto y col (2021) determinaron la actividad antioxidante *in vitro* de hidrolizados de albúminas de garbanzo desi de color negro obtenidos con la enzima alcalasa logrando identificar diversos péptidos como FEL, FKN, MEE, FGKG, FEI, FIE con dicha actividad. Por su parte, Navarro-Leyva y col (2023) realizaron análisis *in vivo* para evaluar la capacidad antioxidante de un hidrolizado de albúminas de garbanzo desi negro, el cual generaron empleando pepsina y pancreatina. Para la evaluación usaron ratones con el hígado dañado porque se les suministró acetaminofén, uno de estos grupos fue tratado con el hidrolizado y otro grupo con silimarina (control) y, midieron los marcadores glutatión total, fosfatasa alcalina, malondialdehído e hicieron un análisis de histopatología del hígado. Estos investigadores observaron que los ratones no presentaron daño oxidativo, ya que los marcadores analizados se detectaron en concentraciones similares tanto en los ratones tratados con el hidrolizado como en los tratados con el control, además observaron una reducción en el daño de hígado en los ratones suministrados con el hidrolizado, por lo que sugirieron que su hidrolizado proteínico de garbanzo podría ser de utilidad en el tratamiento de enfermedades crónicas.

### **b Péptidos con actividad antiinflamatoria**

La inflamación es una reacción del sistema inmunitario a diversos estímulos como infecciones, sustancias tóxicas o daños en tejidos. El óxido nítrico es un mediador proinflamatorio liberado en respuestas a estímulos inflamatorios cuando el factor nuclear NF- $\kappa$ B es activado. Actualmente, se han buscado diversas opciones

como medicamentos antiinflamatorios siendo una alternativa el uso de los inhibidores de citocinas proinflamatorias. Sin embargo, el aumento de enfermedades ha llevado a estudiar el uso de proteínas y péptidos con potencial antiinflamatorio. Por lo que, desde hace años se han estudiado péptidos obtenidos mediante hidrólisis de proteínas nativas de diversas leguminosas (Dilshara y col 2014; Tawalbeh y col 2023).

Indrati (2021) menciona que péptidos bioactivos de leguminosas como soya y frijol pueden regular diversos marcadores y mediadores del proceso inflamatorio entre los cuales se tienen óxido nítrico (ON), prostaglandina E2 (PGE2), óxido nítrico sintasa inducida (iNOS), ciclooxigenasa 2 (COX-2), citocinas, y quimiocinas. Milán-Noris y col (2018) obtuvieron péptidos antiinflamatorios de garbanzo germinado utilizando para hidrolizar las proteínas las enzimas amilasa, pepsina y pancreatina aumentando el porcentaje de inhibición de ON conforme se aumentaba la concentración. Por otro lado, Oseguera-Toledo y col (2015) identificaron diferentes péptidos en hidrolizados de frijol de las variedades Negro 8025 y Pinto Durango encontrando una reducción en la producción de marcadores inflamatorios (ON, PGE2) y en la expresión de enzimas proinflamatorias COX-2 e iNOS en cultivos de macrófagos RAW267.4 activados con lipopolisacárido de *Escherichia coli*.

### **c Péptidos con actividad antidiabética**

Una buena estrategia para disminuir y controlar la diabetes sería controlando la digestibilidad de carbohidratos al inhibir enzimas digestivas del almidón, como las  $\alpha$ -amilasas, ya que su inhibición puede ayudar a controlar la hiperglucemia. Hoy en día se han utilizado diferentes inhibidores como acarbosa, miglitol y voglibosa. Sin embargo, al estudiar esta ECD se ha llegado a la conclusión que al llevar una buena

alimentación, como el consumo de algunos polisacáridos, péptidos, ácidos grasos insaturados y fitoesteroles, podrían ayudar a inhibir la hidrólisis de carbohidratos, una buena alternativa es el consumo de leguminosas por ser una excelente fuente de proteína, cuyo perfil de aminoácidos es rico en lisina, leucina, ácido aspártico y arginina, además contienen agentes antidiabéticos debido a la regulación metabólica. Su consumo se ha relacionado con una incidencia menor de diabetes mellitus 2, lo cual se asocia con el contenido de péptidos bioactivos. Sin embargo, la información sobre péptidos inhibidores de enzimas digestivas de carbohidratos es muy limitada (Quintero-Soto y col 2021; Arnal y col 2023; Hu y col 2023). Se sabe que una de las características que más influye en el potencial antidiabético es el peso, estructura molecular, composición y secuencia tanto de aminoácidos como péptidos (Hu y col 2023).

Por lo general, las investigaciones reportadas actualmente se centran en la capacidad de inhibir las enzimas  $\alpha$ -amilasa y  $\alpha$ -glucosidasa en leguminosas, principalmente en péptidos obtenidos a partir de hidrolizados proteínicos, es importante recalcar que las enzimas mencionadas anteriormente tienen como función hidrolizar polisacáridos durante el proceso de digestión y se encargan de igual manera de liberar monosacáridos que son absorbidos por el sistema digestivo (Quintero-Soto y col 2021; Arnal y col 2023).

Chandrasekaran y col (2020) realizaron un proceso de hidrólisis en un aislado proteínico de garbanzo germinado empleando pepsina-pancreatina y bromelina, donde reportaron diversos péptidos con actividad antidiabética, como la siguiente secuencia peptídica PHPATSGGGL la cual tenía inhibición en DIPV-IV y

YVDGSGTPLT mostrando inhibición en  $\alpha$ -glucosidasa. Por otro lado, Quintero-Soto y col (2021) hidrolizaron harina de garbanzo con alcalasa en fracciones de albúminas y globulinas, reportando los siguientes péptidos FEI, FEL, FIE, FKN, FGKG, MEE con potencial antidiabético.

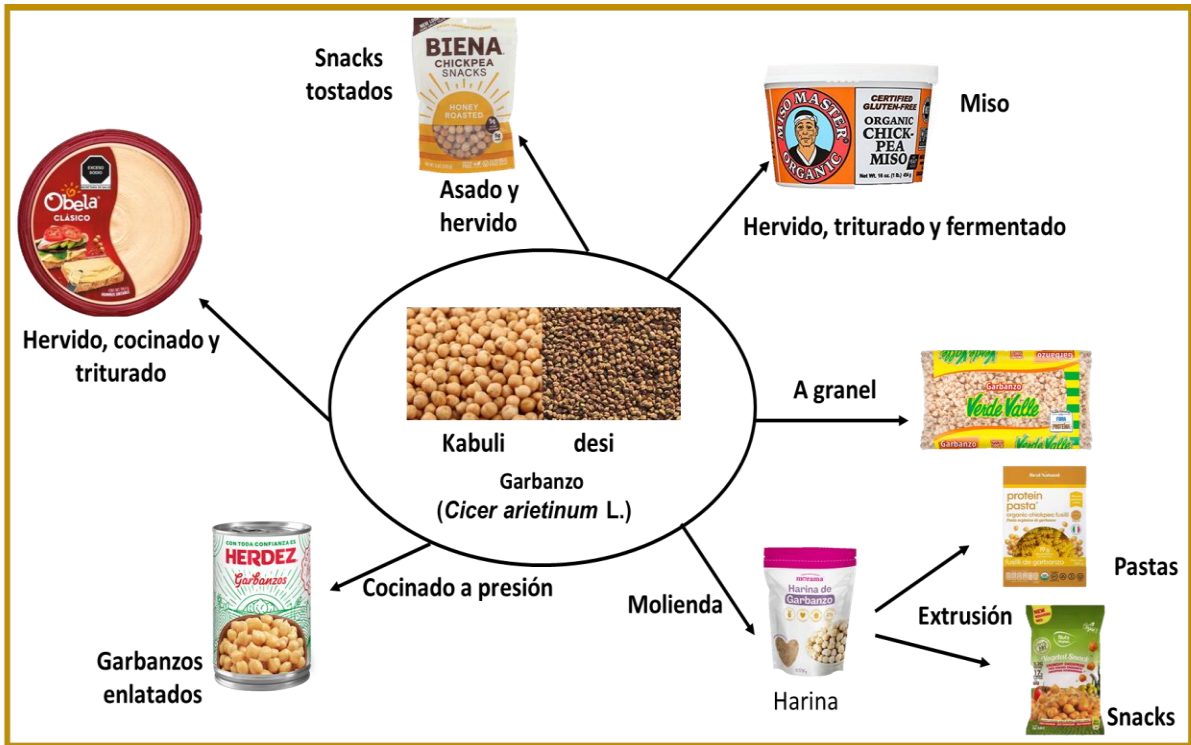
## **F TECNOLOGÍAS DE PROCESAMIENTO DE GARBANZO**

Las leguminosas son base de la alimentación en varias poblaciones por sus características nutricionales. Para poder ser consumidas, las leguminosas deben ser procesadas con el fin de ablandar el cotiledón, mejorar características sensoriales y nutricionales. Sin embargo, las características nutricionales adquiridas por el consumo del garbanzo varían, de acuerdo con el proceso sometido de dicha leguminosa. Además, a través de estos procesos pueden eliminarse o disminuir ciertos compuestos anti nutricionales y a la vez permite la elaboración de nuevos productos favoreciendo a la industria alimentaria (Hayat y col 2014; Yegrem 2021; Ohanenye y col 2022).

Se han estudiado distintos procesamientos para el consumo de garbanzo, principalmente remojo, cocción, tostado, germinación, fermentación y extrusión. La extrusión se ha empleado para la elaboración de nuevos productos con un alto valor nutricional y nutracéutico (**Figura 2**) (Hayat y col 2014).

### **1 Cocción**

El proceso de cocción es definido como un tratamiento térmico al cual se someten los alimentos provenientes de animales o vegetales, en dicho proceso se experimentan diferentes cambios tanto físicos, químicos y biológicos, en los cuales se



**Figura 1.** Alimentos funcionales elaborados de garbanzo desi y kabuli.

Real Hernandez y Gonzalez de Mejia (2019)

encuentran involucrados cambios en composición química, características sensoriales, entre otros. A pesar de que los cambios en este proceso son muy variados estos ayudan a mejorar su sabor, aroma y digestibilidad. Además, dicho proceso provoca la reducción, inactivación y/o destrucción de factores anti-nutricionales provenientes de proteínas (inhibidores de tripsina, lectinas) y saponinas a niveles indetectables; también mejora la digestibilidad de las proteínas en leguminosas, a pesar de esto podría existir una reducción en la calidad de las proteínas debido a la pérdida de aminoácidos (Chaparro Acuña y col 2011).

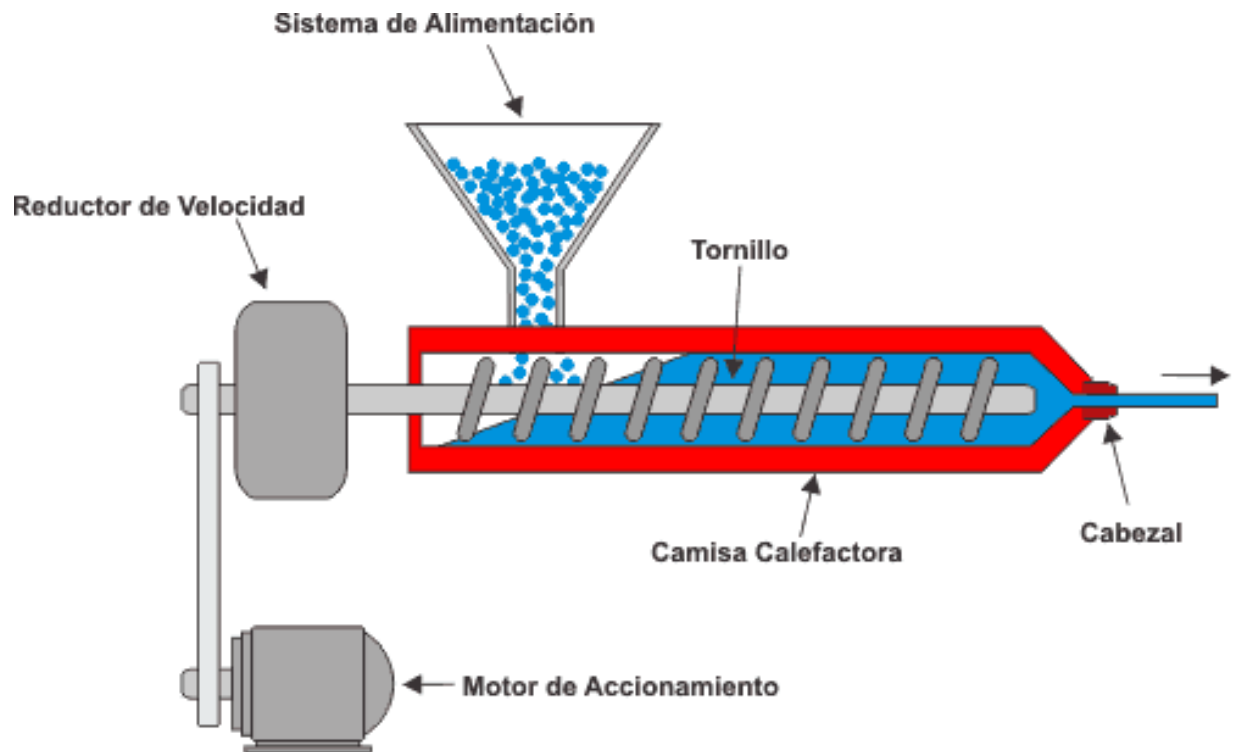
## **2 Extrusión**

La extrusión ha sido definida como “el proceso que consiste en dar forma a un producto, forzándolo a través de una abertura con diseño específico”. Esta tecnología de alimentos se basa en el mezclado, cocción utilizando temperaturas elevadas en un periodo corto de tiempo, amasado y moldeado de una matriz alimentaria evitando la sobre gelatinización de almidones, este proceso tiene como ventaja ser un proceso continuo, de bajo costo y sostenible, ya que utiliza tiempos de procesamiento cortos y requiere bajos aportes de agua y energía sin generación de residuos. La extrusión permite elaborar diversos productos alimenticios como cereales, sopas instantáneas, botanas, alimentos para bebés. Los productos elaborados a partir del proceso de extrusión brindan ventajas buenas comparados con otros procesos térmicos, como mejores características nutricionales, funcionales y propiedades sensoriales, los cuales son capaces de cumplir las necesidades del consumidor (Bressani 2016; Acevedo Martínez y col 2021).

Chávez-Ontiveros y col (2022) definen el proceso de extrusión eficaz y de bajo presupuesto, el cual emplea distintos parámetros como altas temperaturas en tiempos cortos dando como resultado un alimento cocido. Singh y col (2007b) definen el proceso de extrusión como el método en el que un material ya sea la semilla completa, harina o subproducto forzado a salir, bajo una variedad de condiciones ya sea de calentamiento por cizallamiento y mezclado, a través de una placa/boquilla diseñada para dar forma o comprimir los ingredientes.

En el proceso de extrusión para lograr una expansión, unión y cocción de los ingredientes a extruir en tiempos cortos, no solo se trata del control de humedad y temperatura, se debe tomar en cuenta una serie de parámetros como fuerzas de corte, velocidad de tornillo, componentes disponibles en la harina a procesar, para obtener productos con valores nutricionales y/o sensoriales aptas para el organismo y/o consumidor. Por lo que, el producto obtenido será el resultado basado en los parámetros seleccionados a los que la matriz alimentaria se sometió en el extrusor (**Figura 3**) (Bressani 2016; Pedrosa y col 2021).

Mediante el proceso de extrusión la energía térmica utilizada y corte aplicadas al alimento crudo causan cambios estructurales, químicos y nutricionales, ya que se el almidón podría gelatinizarse o degradarse, las proteínas desnaturalizarse, los lípidos oxidarse, las vitaminas compuestos, antinutricionales y fitoquímicos degradarse Así como, la formación de sabores, aumento de la biodisponibilidad de minerales, solubilidad de la fibra dietética y formación de enlaces bisulfuros (no covalentes) y lipídicas (solubilidad y emulsificación) en los productos elaborados (Alam y col 2016; Bressani 2016).



**Figura 3.** El extrusor y sus partes.  
Fuente: <https://www.textoscientificos.com/polimeros/moldeado> (2005)



El principio utilizado en un extrusor (**Figura 3**) implica principalmente el moldeo de un producto el cual es forzado, es decir que, se requiere una fuente de alimentación de materia prima (por lo general harina), un cilindro giratorio hidráulico en el cual la materia prima será desplazada, a través del tornillo, para ser procesada. Posteriormente, se regula la cantidad de agua en forma de vapor la cual es inyectada en la materia prima, lo cual promueve la fluidez y generación de dicho producto alimenticio. Además, la materia prima es transportada por un tornillo helicoidal a una velocidad controlada que favorezca que la harina se humedezca y que no permita que se convierta en una pasta. La velocidad regulada del tornillo permitirá que la masa que se está formando en el interior del tornillo, tenga la consistencia y apariencia adecuada para que pueda ser agradable y consumible (Bressani 2016).

Esta tecnología tiene las ventajas de ser un proceso continuo económico y sostenible, ya que utiliza tiempos de procesamiento cortos y requiere bajos aportes de agua y energía sin generación de residuos, además en el proceso se desarrollan modificación de las propiedades funcionales, complejos lipídicos-carbohidratos, que mejoran la textura y las características sensoriales del producto obtenido, se desnaturalizan e inactivan factores antinutricionales, que permiten el mejoramiento en el uso de leguminosa (Bressani 2016).

En la actualidad, se han empleado leguminosas como ingrediente en la elaboración de alimentos extrudidos, debido a su bajo costo y calidad nutricional. Debido a las buenas características nutricionales de las leguminosas, como alto contenido de proteína y fibra es requerido optimizar los parámetros de cada harina utilizada como material (Pedrosa y col 2021). La metodología de superficie de

respuesta (RSM) es un mecanismo muy empleado para la optimización de condiciones aplicadas en diferentes procesos siendo la extrusión donde dicha metodología se utiliza para optimizar las variables de proceso y de respuesta que permitan elaborar un producto con las mejores condiciones y un ejemplo de ello es el trabajo realizado por Milán-Carrillo y col (2002) quienes optimizaron las condiciones para extrudir garbanzo endurecido y obtener un producto con una mejor calidad proteínica. Chávez-Ontiveros (2023) optimizó las condiciones de extrusión en garbanzo desi empleando como variables de respuesta la capacidad antioxidante, índice de absorción de agua e índice de solubilidad de agua, observando los mejores resultados de dichas variables cuando se combinan una temperatura de extrusión de 150 °C y una velocidad de tornillo de 240 rpm.

## **a Efecto del proceso de extrusión sobre la composición nutricional**

### **1) Efecto sobre vitaminas y minerales**

El contenido de vitaminas y minerales después del proceso de extrusión varía de acuerdo la estabilidad de estos compuestos, lo cual depende de su estructura y composición química. Por lo que, las vitaminas se ven afectadas durante la extrusión con el aumento de temperatura, humedad, alimentación, velocidad de cizallamiento. Dentro de las vitaminas más sensibles al proceso de extrusión son las vitaminas B, C, niacina y riboflavina. Respecto al contenido de minerales, se ha demostrado que son termoestables durante el proceso de extrusión, además es de gran importancia mencionar que su absorción mejora mediante la eliminación de factores antinutricionales (Singh y col 2007a; Dalbhagat y col 2019).

## 2) Efecto sobre proteínas

Las proteínas son compuestos lábiles al calor, por lo que se ven altamente afectadas por el proceso de extrusión, debido a su desnaturalización; ocasionando que estos compuestos se vuelvan más susceptibles, incrementando su digestibilidad proteica e inactivación de factores anti nutricionales (Milán-Carrillo y col 2000; Morales y col 2015; Dalbhagat y col 2019).

Investigaciones previas han reportado, que existen diversos factores relacionados en el efecto sobre proteínas en el proceso de extrusión, siendo uno de ellos la humedad; haciendo referencia que una alta temperatura y un contenido bajo de humedad causa una perdida mayor de aminoácidos, además un menor cizallamiento y disipación de energía mecánica, aplicando una alta humedad en el alimento tiene como resultado una mayor retención de aminoácidos mejorando así la digestibilidad proteica (Morales y col 2015; Dalbhagat y col 2019).

Otra variable importante en el proceso de extrusión relacionada a la digestibilidad proteica es la relación de alimentación y temperatura. Una de las principales ventajas de este proceso es la destrucción o disminución de factores anti nutricionales termolábiles como inhibidores de tripsina, taninos, etc., y todos aquellos compuestos que disminuyen la digestibilidad proteica (Singh y col 2007b).

Anuonye y col (2012) estudió el impacto de la extrusión en un tipo de frijol (*Cajanus cajan*) sobre el contenido de aminoácidos observando una reducción significativa de aminoácidos como lisina (58.33 %), histidina (54.77 %) y acido aspártico (48.01 %); diversas perdidas se encuentran relacionadas con la reacción de

Maillard, debido a la interacción entre aminoácidos con los grupos carbonilo de los azúcares reductores a través de los grupos amino libres. Una alternativa para disminuir pérdidas sería trabajar en un proceso de optimización, empleando como factores de respuesta las variables nutricionales de mayor importancia en la investigación (Singh y col 2007a).

Por otro lado, Guldiken y col (2020) evaluaron una mezcla extrudida de garbanzo-cebada en diferentes proporciones, donde estudiaron la puntuación de aminoácidos limitantes y score de aminoácidos corregidos por digestibilidad de proteína in vitro (IV-PDCAAS) como una función de la humedad y el barril temperatura, teniendo como resultado cantidades de isoleucina, fenilalanina + tirosina mayores a reportadas por la OMS; y como aminoácidos limitantes se tuvo a treonina, valina, leucina, triptófano y lisina. Respecto a IV-PDCAAS oscilaron valores entre 74.9 y 83.4%, por lo que tomaron en cuenta que valores de IV-PDCAAS más bajo en altos niveles de humedad era debido al efecto plastificante del agua, lo que llevo a condiciones de menor temperatura/cizallamiento para obtener digestibilidad más baja que la observada en niveles de humedad más bajos.

### **b Características nutraceuticas de hidrolizados proteínicos obtenidos a partir de granos de cereales y leguminosas extrudidas**

El implemento de nuevos productos a base de leguminosas ha sido por su alto contenido nutricional como proteína, fibra y componentes bioactivos. Además, aplicando el uso de tecnologías de alimentos, como lo es la extrusión es posible

mejorar tanto características funcionales como nutricionales, incrementando digestibilidad, biodisponibilidad y bioactividad de proteínas (Kaur y Prasad 2021; Chávez-Ontiveros y col 2022).

Es por eso, el interés que se ha generado de estudiar el efecto de las proteínas e hidrolizados de leguminosas respecto a las distintas actividades biológicas que pueden ejercer en nuestro organismo, dentro de las investigaciones generadas destaca Chávez-Ontiveros y col (2022), quienes obtuvieron por primera vez el efecto antihipertensivo *in vivo* de un hidrolizado proteínico a partir de garbanzo kabuli sin procesar y sometido a extrusión, teniendo como resultado distintos péptidos antihipertensivos los cuales pueden disminuir de manera eficaz la presión arterial. Para ello, realizaron hidrólisis enzimática de garbanzo kabuli extrudido con  $\alpha$ -amilasa, pepsina y pancreatina donde lograron la obtención de péptidos con actividad antihipertensiva, donde evaluaron de manera *in vitro* (concentraciones de 12.97 mg/mL inhibieron la ECA a 97.4%) e *in vivo* logrando observar una disminución de la presión arterial sistólica de ratones hipertensos, empleando como referencia captopril. Por lo que concluyeron que, el hidrolizado de garbanzo extrudido realizado en el estudio mostró efectos antihipertensivos similares por captopril después de la administración. Respecto el proceso de extrusión, al volverse las proteínas más accesibles, mejorar su digestibilidad, ser desnaturalizadas y agregadas; al realizar un proceso de hidrólisis enzimática es posible obtener péptidos de bajos pesos moleculares.

Por otro lado, Montoya-Rodríguez y col (2014) evaluaron en hidrolizados proteínicos de amaranto sin procesar y extrudido donde lograron identificar péptidos con efecto antiinflamatorio en macrófagos humanos y de ratón inducidos por LPS.

De acuerdo con los estudios mencionados y la falta de información acerca de péptidos bioactivos generados a partir de garbanzo extrudido, se planteó el desarrollo de la presente investigación, debido a que la obtención de hidrolizados proteínicos de garbanzo con enzimas digestivas a partir de extrusión podría ser una buena alternativa para mejorar la bioactividad de los péptidos presentes en él y disminuir diferentes ECD.

## IV JUSTIFICACIÓN

Los padecimientos crónico-degenerativos son una de las causas más preocupantes de mortalidad en México, las cuales se han atribuido a factores como genéticos, fisiológicos, ambientales, conductuales y dietas no equilibradas. Esto, ha incrementado el interés en la población de cambiar sus hábitos de alimentación buscando alimentos funcionales; los cuales, además de nutrir cumplen una función en nuestro organismo. En años recientes, se ha intensificado la búsqueda de materiales de origen vegetal que cumplan con estas características así mismo, se ha buscado el tipo de procesamiento al cual deben ser sometidos los matrices alimenticias para el desarrollo de este tipo de alimentos. El garbanzo tipo desi es una leguminosa subutilizada que presenta propiedades nutricionales altas, ya que proporciona proteínas de calidad biológica alto y algunos genotipos como el ICC5383 tienen un contenido balanceado de aminoácidos, es fuente de ácidos grasos, minerales, vitaminas y fibra. El proceso de extrusión es una tecnología de temperaturas altas, tiempos cortos, la cual puede permitir utilizar granos enteros o mezclas de ingredientes; este proceso es muy versátil utilizado para la elaboración de alimentos como botanas, pastas, cereales para desayuno, entre otros. Durante la extrusión e hidrólisis enzimática del garbanzo se pueden generar péptidos con actividades biológicas como antioxidantes y antiinflamatoria que podrían ayudar a prevenir o controlar enfermedades crónicas degenerativas. Por ello nos planteamos evaluar el potencial antioxidante y antidiabético de hidrolizados proteínicos de garbanzo desi extrudido.

## V HIPÓTESIS

El hidrolizado proteínico de harina de garbanzo (*Cicer arietinum* L.) deshidratado genera péptidos con potencial antioxidante y antidiabético.



## **VI OBJETIVOS**

### **A OBJETIVO GENERAL**

Evaluar el potencial antioxidante y antidiabético de hidrolizados proteínicos de garbanzo desi extrudido.

### **B OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Determinar la composición química y propiedades tecnofuncionales de los granos de garbanzo desi ICC 5383 crudo y extrudido.
2. Evaluar el efecto del proceso de extrusión de harinas de garbanzo sobre el grado de hidrólisis (pepsina y pancreatina) de concentrados proteínicos y el contenido de proteína soluble y perfil de proteínas.
3. Determinar la capacidad antioxidante *in vitro* (ABTS, ORAC, DPPH) de concentrados proteínicos y sus hidrolizados generados a partir de garbanzo desi crudo y extrudido.
4. Determinar la actividad inhibitoria de la enzima  $\alpha$ -glucosidasa y  $\alpha$ -amilasa de concentrados proteínicos y sus hidrolizados generados a partir de garbanzo desi crudo y extrudido.

## VII MATERIALES Y MÉTODOS

### A MATERIALES

Se utilizó el cultivar de garbanzo ICC 5383 (**Figura 4**) proveniente de la India, el cual fue cultivado bajo las mismas condiciones ambientales en el Campo Experimental del Valle de Culiacán del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP) durante el ciclo agrícola 2017-2018 con el apoyo de la MC. Milagros Ramírez Soto y el Dr. Víctor Valenzuela. Los granos cosechados fueron limpiados y almacenados a 4 °C.

### B MÉTODOS

#### 1 Obtención de harinas a partir de granos de garbanzo desi

Harina de garbanzo se obtuvo a partir de semillas enteras de garbanzo desi ICC 5383, las cuales fueron molidas (molino marca Thomas-Wiley, Laboratory Mill, Mod. 4) obteniendo un tamaño de partícula de 2mm. Posteriormente, la harina se pasó por una segunda molienda (Molino marca Perten), dando como resultado un tamaño de partícula menor y una harina más fina. La harina fue homogenizada, posteriormente se tomaron muestras de 250 g en bolsas de plástico, las cuales fueron guardadas en refrigeración (4° C).

#### 2 Proceso de extrusión

Se utilizó un extrusor de un solo tornillo modelo 20 DN (CW Brabender Instruments, Inc., NJ, EUA) con diámetro de 19 mm y apertura de dado de 1 mm. La harina (500 g) fue acondicionada a una humedad del 28% y almacenada en



**Figura 4.** Genotipo de garbanzo desi ICC 5383 utilizado en este estudio.

bolsas de polietileno (4 °C/12 h) para lograr el equilibrio de humedad (Milán-Carrillo y col 2002).

El proceso de extrusión se llevó a cabo con la metodología optimizada por Chávez-Ontiveros y col (2022) empleando una temperatura de 150 °C y velocidad de tornillo de 240 rpm. Los extrudidos fueron colectados en una charola de metal con perforaciones y enfriados a temperatura ambiente; posteriormente estos fueron molidos hasta obtener una harina muy fina. La harina fue almacenada en bolsas de plástico y guardadas en refrigeración (4 °C).

### **3 Composición química de harinas de garbanzo crudo y extrudido**

#### **a Humedad**

En esta determinación se utilizó método 925.10 (AOAC 2012) analizándose 1 g de muestra. Primeramente, se calentó a 70°C durante 12 h, se subió la temperatura a 130°C por 3 h en una estufa de circulación de aire (FELISA mod 142<sup>a</sup>, México). Dicha prueba se llevó a cabo por triplicado.

#### **b Lípidos**

El método 920.39 (AOAC 2012) fue utilizado para este análisis. A muestras de harina (2 g) se les extrajo el aceite con éter de petróleo (70 °C/ 4 h) empleando el equipo Saxtec System HT 1043 Extraction Unit (Tecator, SE). La prueba fue realizada por triplicado.

### **c Minerales**

Se cuantificó con la metodología 923.03 (AOAC 2012). La muestra de harina (1 g), se colocó en un crisol de porcelana previamente tarado e incinerada en una mufla a 550°C por 12 h. De ahí, las muestras fueron enfriadas en un desecador y pesadas al alcanzar temperatura ambiente. Las muestras fueron analizadas por triplicado.

### **d Proteínas**

El método 960.52 (AOAC 2012) se usó y el análisis se realizó en el sistema Kjeltex (modelo 1009 y 1002, Tecator, SE). Se realizó la digestión de 0.02 g de muestra con 3 mL de ácido sulfúrico y la mezcla reactiva de selenio (Merck Co., Alemania) a 200°C. La muestra digerida se diluyó en 10 mL de agua y se destiló (NaOH, 40%; ácido bórico al 4% con indicador de rojo de metilo). La muestra destilada se tituló con HCl 0.1 N. La proteína cruda se calculó multiplicando del contenido de nitrógeno total por el factor 6.25. La evaluación fue realizada por triplicado.

### **e Carbohidratos**

El contenido de carbohidratos se determinó por diferencia de 100 % restando la suma de los porcentajes de lípidos, minerales y proteína.

## **4 Evaluación de propiedades tecnofuncionales en harinas de garbanzo crudo y extrudido**

### **a Índice de absorción en agua (IAA)**

Se pesaron 2.5 g de harina de garbanzo en un tubo para centrifuga y se suspendieron en agua destilada (30 mL) a 30 °C. El tubo se colocó en un agitador

orbital (marca OVAN NR50-E) a 30 rpm durante 30 min y se centrifugó a 3000 xg a 30°C por 10 min. El sobrenadante se decantó en un vaso de precipitado previamente tarado para la determinación de sólidos. El tubo con el gel que se formó fue pesado y el IAA fue calculado como gramos de gel/ gramo de muestra seca (Anderson y col 1969). Esta prueba se realizó por triplicado.

#### **b Índice de solubilidad en agua (ISA)**

El sobrenadante anterior se sometió a evaporación durante toda la noche a 110°C y el vaso de precipitado con los sólidos secos se pesó. El ISA se calculó con la siguiente fórmula expresándose los resultados como g de sólidos secos/ g de sólidos originales (Anderson y col 1969). Esta prueba se efectuó por triplicado.

$$\text{ISA} = \frac{\text{Peso del vaso con muestra seca} - \text{Peso de vaso vacío}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

#### **c Índice de absorción de aceite (IAAc)**

El IAAc se llevó a cabo de acuerdo con lo reportado por Lin y col (1974) y Ordorica-Falomir (1988). Muestras de harina (0.5 g) se pesaron en un tubo cónico graduado para centrífuga y mezclaron con 3 mL de aceite vegetal agitándose 1 min en un vortex dejándose en reposo por 30 min. Las muestras fueron centrifugadas a 1,600 x g por 25 min (centrifuga marca Eppendorf, Modelo 5804R) y se midió el volumen de aceite libre. Los resultados se expresaron como mL de aceite absorbido/ g de harina (IAAc = Vol. aceite inicial - Vol. aceite libre). El análisis se efectuó por triplicado.

#### **d Índice de dispersabilidad**

El índice de dispersabilidad se efectuó siguiendo la técnica reportada por Mora-Escobedo y col (1991). Muestras de harina (1 g) se mezclaron en un tubo cónico graduado con 10 mL de agua destilada. Las muestras se homogeneizaron en un Ultra Turrax (marca IKA, Modelo T18 basic) a 10,000 rpm por 5 min. La separación de las fases (sedimento y líquido) se midió después de 30 min de reposo. Los análisis se realizaron por triplicado. Los resultados se expresaron como porcentaje de dispersabilidad utilizando la fórmula: % Dispersabilidad = Fase sólida / 10 x 100.

#### **e Capacidad de formación de espuma (CFE) y estabilidad de espuma (EE)**

Estas pruebas se determinaron con los métodos de Hauffman y col (1975). Para ello, 0.5 g de muestra se colocaron en una probeta de capacidad de 100 mL y añadieron 50 mL de agua destilada. La mezcla se agitó a 12,000 rpm por 1 min en un Ultraturrax (marca IKA, Mod. T18 basic) midiéndose el volumen de la espuma formada. Las muestras se evaluaron por triplicado. La CFE se determinó la manera siguiente:

$$\% \text{ CFE} = \frac{\text{Volumen después de agitado} - \text{Volumen antes de agitado}}{\text{Volumen antes de agitado}} \times 100$$

La muestra se quedó reposando por 30 min midiéndose el volumen de la espuma residual. La EE se calculó de la siguiente manera:

$$\% \text{ EE} = \frac{\text{Volumen de la espuma después del reposo}}{\text{Volumen total de la emulsión}} \times 100$$

## **f Capacidad de emulsión (CE) y estabilidad de emulsión (EEm)**

Las evaluaciones de la CE y EEm se realizaron con la metodología señalada por Hauffman y col (1975). Muestras de 7 g con 10 mL de agua destilada y 10 mL de aceite vegetal se agitaron en un homogeneizador Ultraturrax (marca IKA, Modelo T18 basic) a 12,000 rpm durante 1 min. Las muestras se pasaron a tubos cónicos graduados de 50 mL, se centrifugaron a 1,300 xg durante 5 min (centrifuga marca Eppendorf, Modelo 5804R), se midió el volumen de la emulsión formada y los resultados se evaluaron relacionando la capa emulsificada y el volumen total reportando el porcentaje de capacidad emulsión (%CE).

$$\% \text{ CE} = \frac{\text{Volumen de la capa de emulsión}}{\text{Volumen total de la emulsión}} \times 100$$

Posteriormente, a dichas muestras se les evaluó la estabilidad de la emulsión formada (% CE). Para lo cual, los tubos con la emulsión se trataron térmicamente (80 °C/ 30 min) en un baño maría (marca Precision, Modelo 89L) dejándose enfriar para su centrifugación a 1,300 xg por 5 min y se midió el volumen de la emulsión reportando % EEm retenido después del tratamiento térmico. Esta prueba se efectuó por triplicado.

$$\% \text{ EEm} = \frac{\text{CE después del tratamiento térmico}}{\text{CE inicial}} \times 100$$

## **5 Obtención de concentrados proteínicos a partir de harinas de garbanzo desi crudo y extrudido**

Lotes de 250 g de harina de garbanzo crudo o extrudido se desgrasaron con hexano (1:4, p/v) en agitación a 500 rpm/ 4 h, la torta desgrasada se secó durante toda



la noche a temperatura ambiente en una campana de extracción de solventes. Posteriormente, se tomaron 200 g de harina desgrasada y extrajeron las proteínas suspendiendo en agua destilada (1:10, p/v), ajustando el pH a 8.5 (NaOH, 1M) con agitación continua a 500 rpm/ 2 h. La suspensión de harina se centrifugó a 10,000 xg durante 10 min, el sobrenadante se recolectó y la pastilla se sometió de nuevo a extracción empleando las condiciones anteriormente descritas. Para la precipitación proteínica, los sobrenadantes clarificados se mezclaron ajustando el pH a 4.5 (HCl, 1M) con agitación continua a 500 rpm/ 2 h, se centrifugó a 10,000 xg por 10 min, la pastilla obtenida se liofilizó y almacenó a -20 °C (Milán-Noris y col 2018).

Posteriormente, el liofilizado se lavó secuencialmente con solventes con la finalidad de remover los compuestos fenólicos y evitar interferencias en evaluaciones posteriores. Para ello, se empleó el método de Juárez-Chairez y col (2022) con modificaciones. Primeramente, al liofilizado se le agregó acetona al 75% (1:10, p/v) agitándose durante 30 min a 500 rpm/ 4°C y se decantó; este paso se repitió 5 veces. De ahí, se agregó metanol concentrado frío y se agitó durante 1 h a 500 rpm/ 4°C y decantó, repitiéndose este paso dos veces. Finalmente, el liofilizado se mantuvo a temperatura ambiente hasta la evaporación completa del solvente. Se determinaron los compuestos fenólicos totales de acuerdo con la metodología colorimétrica de Folin-Ciocalteu señalado por Singleton y col (1999). Los resultados se señalaron como microgramos equivalentes de ácido gálico (EAG) por g de muestra seca (mg EAG/ g, bs). Además, se determinó la concentración de proteína siguiendo el método oficial 960.52 de la AOAC (2012).

## **6 Obtención de hidrolizados proteínicos con enzimas digestivas**

Primeramente, al concentrado proteínico se le añadió amortiguador de fosfatos (0.005 M, pH 6.9) a una concentración de 1:20 (p/v). A la suspensión proteínica se le ajustó el pH a 2.0 a una temperatura de 37 °C, posteriormente se agregó pepsina (2,250 U/ mL, mucosa gástrica porcina, Sigma-Aldrich) manteniendo en agitación constantemente durante 1.5 h y ajustando el pH. Pasado el tiempo, el pH se ajustó 6.8 y se añadió la pancreatina (8 x USP, páncreas porcino, Sigma-Aldrich), agitando a 200 rpm durante 2 h cuidando el pH. Las enzimas fueron inactivadas en un baño maría a 79 °C por 10 min. Los hidrolizados fueron centrifugados para separar los sólidos a 20,000 xg por 5 min a 4 °C; el sobrenadante resultante se ultrafiltró a través de un tubo Amicon® de 10 kDa; la muestra filtrada se liofilizó y almacenó a -20 °C (Acevedo Martínez y Gonzalez de Mejia 2021; Chávez-Ontiveros y col 2022).

### **a Cuantificación de proteína soluble**

Para esta determinación se empleó el BCA-Protein Assay kit (Thermo Fisher Scientific, Rockford, IL), el cual es un análisis colorimétrico que permite conocer la concentración de proteína soluble basado en reducir el ion cúprico a ion cuproso debido a la proteína en un ambiente alcalino (reacción de Biuret) utilizando el ácido bicinconínico (BCA) para detectar dicha reacción.

Se preparó una curva estándar de albúmina bovina a partir de un stock de 2 mg/mL en concentraciones de 0 a 2000 mg/ mL. Se mezcló una alícuota de 10 mg de muestra en 1 mL de PBS, pH 8. Se preparó el reactivo de trabajo basándose en las instrucciones del fabricante mezclando reactivo A con el reactivo B. Una vez

preparadas las muestras, curva y reactivo de trabajo, en una microplaca de 96 pozos se añadieron 25  $\mu\text{L}$  de muestra y 200  $\mu\text{L}$  de reactivo de trabajo incubándose a 37°C por 30 min, la placa se dejó enfriar a temperatura ambiente y midió la absorbancia a 562 nm en un lector de microplacas Multiskan Go™ (Thermo Fisher Scientific, EUA). Los resultados se reportaron como mg/ g de proteína soluble.

### **b Separación electroforética de proteínas por SDS-PAGE**

El ensayo se llevó a cabo utilizando el método de Laemmli (1970). Las muestras se mezclaron con el amortiguador de Laemmli (Bio-Rad Laboratories) con 5 %- $\beta$ -mercaptoetanol, se hirvieron por 5 minutos y dejaron enfriar a temperatura ambiente. Posteriormente, se cargó en el gel (10  $\mu\text{L}$ , 20  $\mu\text{g}$  de proteína/pocillo) y se corrió a 150 kV por 2 h utilizando una solución de amortiguador de tris-glicina (10 %) y agua (90 %). Trascurrido el tiempo de corrida, los geles fueron removidos y teñidos en una mezcla de azul de Coomassie R-250, agua desionizada, metanol y ácido acético glacial (1.25 g:200 mL:250 mL:50 mL) por 12 h; el gel fue desteñido con una solución conformada por agua destilada, metanol, ácido acético glacial, ácido tricloroacético (670 mL:290 mL:40 mL:35 g) durante 12 h. La foto del gel se tomó empleando un fotodocumentador (Gel Doc™ XR+ Gel Documentation System, Bio-Rad). Se empleó como marcador de peso molecular Precision Plus Protein™ (10-250 kDa, Bio-Rad Laboratories Inc., CA, EUA).

### **c Grado de hidrólisis (GH)**

El GH se evaluó con el método de Adler-Nissen (1986). Para lo cual, primeramente, se tomaron alícuotas de 250  $\mu\text{L}$  a 30, 60, 90, 120, 150 y 180 min durante

el proceso de hidrólisis. A cada alícuota se le agregaron 2 mL de SDS 1 % y se colocaron en baño maría a 75 °C durante 15 min. Una vez que las alícuotas con SDS se enfriaron, se tomaron 250 µL por muestra, se transfirieron a un tubo cónico de 15 mL conteniendo 2 mL de amortiguador de fosfato de sodio (0.2 M, pH 8.2) y se añadieron 2 mL de una disolución de TNBS 1 % agitándose en vortex (30 seg) y colocándose en baño maría a 50 °C durante 60 min. Las muestras se protegieron de la luz cubriéndolas con papel aluminio. La reacción se detuvo con HCl 0.1 N (4 mL) y leyó a 340 nm en un espectrofotómetro. Una curva de leucina (0 a 5 mM) se empleó como estándar y el porcentaje del grado de hidrólisis (% DH) se calculó utilizando la fórmula siguiente:  $\% \text{ GH} = (h/h_{\text{tot}}) \times 100$ ; donde  $h$ , es la concentración de grupos aminos que se formaron durante la hidrólisis en mmol/ g de proteína y  $h_{\text{tot}}$ , es equivalente a 7.22 mmol/ g de proteína de acuerdo con lo señalado por Kou y col (2013).

## **7 Determinación de la capacidad antioxidante química de harinas de garbanzo desi (crudo, extrudido), de sus concentrados proteínicos e hidrolizados**

### **a Método ABTS**

La capacidad antioxidante del catión ABTS•+ (ácido 2,2'-azino-bis-3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico) de harinas, concentrados e hidrolizados proteínicos de garbanzo crudo y extrudido se determinó basándose en la metodología descrita por Re y col (1999). La actividad captadora de radicales libres que pudieran presentar al reducir el radical ABTS•+, se ve reflejado en una disminución de la coloración verde-azulada generada cuando reaccionan el radical ABTS•+ y el compuesto antioxidante de la muestra en cuestión. Primeramente, se mezclaron ABTS (7 mM) con persulfato

de potasio (2.45 mM) dejándose en reposo bajo oscuridad por 16 h; se tomó una alícuota de la mezcla y diluyó con PBS (pH 8.0) hasta lograr una absorbancia de 0.700-734 nm; la solución siempre se mantuvo bajo oscuridad. En una microplaca preferentemente de 96 pozos, se agregaron 7.5  $\mu$ L de las muestras y de la curva de calibración de Trolox (0 a 800 mg/mL). Posteriormente, se agregaron 292.5  $\mu$ L de la solución ajustada (absorbancia mayor a 0.700) del radical ABTS $\bullet$ +, se incubó 10 min en oscuridad, por último, la absorbancia se midió en un lector de microplacas Multiskan Go<sup>TM</sup> (Thermo Fisher Scientific, EUA) a 734 nm y los resultados se reportaron como  $\mu$ moles equivalentes de Trolox (ET)/ g de muestra en base seca (bs).

#### **b Método ORAC**

La evaluación de la capacidad antioxidante por el método ORAC (Capacidad de Absorbancia de Radicales Oxígeno) se realizó con la metodología descrita por Zhao y col (2014). Dicho método se basa en la pérdida de fluoresceína, cuando el pseudoperóxido 2,2'-azobis(2-metilpropionamida) dihidroclorado (AAPH) es expuesto a 37 °C y presencia de oxígeno para formar radicales libres, los cuales disminuyen la fluorescencia, por lo tanto, la muestra con capacidad antioxidante neutraliza dichos radicales libres inhibiendo la pérdida de fluorescencia. Se dispensaron 25  $\mu$ L del extracto de cada muestra en una microplaca de 96 pozos. Como blanco se empleó amortiguador de fosfatos 75 mM (pH 8) y se incluyó una curva estándar de Trolox (12.5, 25, 50, 75 y 100  $\mu$ M). La placa se introdujo en un lector multimodal de microplacas (Synergy<sup>TM</sup> HT, BioTek, Instrument), donde se dispensaron 150  $\mu$ L de fluoresceína (0.1 mM) y 25  $\mu$ L de AAPH (Sigma-Aldrich, St Louis, MO, EUA) (153 mM) a cada pozo, seguido de agitación por 20 s de incubación a 37 °C por 30 min. La

fluorescencia se midió durante 60 min con intervalos de 2 min. Las longitudes de onda para excitación y emisión fueron de 485 y 580 nm, respectivamente. Para analizar los resultados se utilizó la ecuación de regresión lineal de Trolox tomando en cuenta el área ubicada debajo de la curva de la pérdida de fluorescencia. Las muestras y el control se analizaron por triplicado y los resultados obtenidos fueron expresados como  $\mu$ moles equivalentes de Trolox (ET)/ 100 g de muestra en base seca ( $\mu$ mol de ET/ g, bs).

### **c Método DPPH**

La actividad anti-radical DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazilo) de las harinas de garbanzo desi crudo y extrudido, concentrados proteínicos y sus hidrolizados fue determinada de acuerdo con lo mencionado por Brand-Williams y col (1995). El método se fundamenta en la capacidad del radical DPPH libre y estable para reaccionar con los compuestos donadores de hidrógeno. Una solución del radical DPPH se preparó en metanol (100  $\mu$ M), de la cual se tomaron 100  $\mu$ L y colocaron en una microplaca de 96 pozos y mezclaron 100  $\mu$ L de muestra (10 mg/ mL). La placa se incubó a 37 °C por 30 min, y midió la absorbancia a 520 nm en un lector de microplacas Multiskan Go™ (Thermo Fisher Scientific, EUA). El estándar empleado fue una curva de Trolox de concentraciones de 0 a 50  $\mu$ g/ mL. Los resultados se expresaron como  $\mu$ moles ET / g de muestra (bs).

## **8 Evaluación del potencial antidiabético de concentrados proteínicos y sus hidrolizados de garbanzo desi crudo y extrudido**

### **a Actividad inhibitoria de $\alpha$ -glucosidasa**

El porcentaje de inhibición de  $\alpha$ -glucosidasa se realizó como siguiendo el método de López-Angulo y col (2019). Se empleó como control positivo una curva estándar de acarbose de 15 mg/ mL a 0.3125 mg/ mL. La determinación se hizo en una microplaca (96 pozos), se dispensaron 50  $\mu$ L de la curva o muestras a diferentes concentraciones, se agregaron 100  $\mu$ L de  $\alpha$ -glucosidasa (0.5 U/ mL) en amortiguador de fosfatos (0.1 M) e incubó a 37 °C por 10 min y se añadieron 50  $\mu$ L de p-nitrofenil-a-D-glucopiranosido en amortiguador de fosfatos (5 mM) a cada pozo. La microplaca se incubó a 37 °C por 10 min y la absorbancia se midió a 405 nm en un lector de microplacas Multiskan Go™ (Thermo Fisher Scientific, EUA). Se utilizó como blanco una solución sin diluyente (P-NPG). El ensayo se realizó por triplicado y el porcentaje de inhibición de la  $\alpha$ -glucosidasa se calculó de la siguiente manera:

$$\% \text{ de Inhibición} = ((A \times B) / A) \times 100$$

Dónde A = absorbancia de control reacción y B = la resta de la absorbancia de la reacción de la muestra menos la absorbancia de control color (sin diluyente).

#### **1) Concentración media inhibitoria (IC<sub>50</sub>)**

La concentración media inhibitoria máxima de la enzima  $\alpha$ -glucosidasa se determinó utilizando el software Origin Pro 2015. Donde primero, fue evaluado el porcentaje de inhibición de la enzima a distintas concentraciones (CPC y CPE: 100, 50, 25 y 10 mg/ mL; HPC y HPE: 10, 5, 2.5 y 1.25 mg/ mL. La determinación del

porcentaje de inhibición, se realizó apoyándose de una curva de acarbosa de 15 mg/ mL a 0.3125 mg/ mL. Por último, los resultados obtenidos de IC<sub>50</sub> fueron definidos como la concentración de concentrado o hidrolizado de garbanzo desi crudo o extrudido (mg/ mL) requerida para causar el 50 % de la inhibición de la enzima α-glucosidasa.

#### **b Actividad inhibitoria de α-amilasa**

El porcentaje de inhibición de α-amilasa se determinó con el método descrito por Arnal y col (2023) y se utilizó como control positivo una curva de calibración de acarbosa 1 mM (0 a 4.46 mg/mL) y como control negativo amortiguador de fosfato sódico 20 mM con cloruro de sodio 6.7 mM (pH 6.9). Se tomaron 50 µL de muestra, mezclado con la enzima α-amilasa (13 U/ mL en el amortiguador de fosfato sódico anterior). La solución se incubó a 37 °C por 10 min. Pasado el tiempo, se agregaron 50 µL de almidón 1 % para posteriormente, incubar la solución a 37 °C durante 5 min. La reacción se detuvo añadiendo 100 µL de DNS, inmediatamente la solución se puso a baño maría (100 °C) por 10 minutos, seguido de 3 min en un baño de hielo. Finalmente, la solución se diluyó agregando 1 mL de amortiguador de fosfato sódico mencionado arriba. En una microplaca se dispensaron 200 µL de las soluciones preparadas anteriormente, la absorbancia se midió a 540 nm en un lector de microplacas Multiskan Go™ (Thermo Fisher Scientific, EUA). El porcentaje de inhibición de α-amilasa se calculó de con la fórmula siguiente:

$$\% \text{ de Inhibición} = [(A_{\text{control}} - (A_{\text{muestra}} - A_{\text{BLC}})) / A_{\text{control}}] \times 100$$

Dónde: A<sub>control</sub> = la absorbancia de control negativo



$A_{\text{muestra}}$  = la absorbancia de la muestra

$A_{\text{BLC}}$  = la absorbancia de la mezcla sin enzima

## **9 Análisis estadístico**

Los datos obtenidos fueron analizados con un análisis de varianza de una sola vía (ANOVA) utilizando un solo factor (tipo de proceso: crudo y extrudido) y las medias de los resultados se compararon con la prueba de rango múltiple de Tukey, con un nivel de significancia del 0.05 empleando el paquete estadístico Minitab.

## VIII RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### A EFECTO DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN SOBRE LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE HARINA DE GARBAZO DESI CRUDO Y EXTRUDIDO

El **Cuadro 6** señala el porcentaje (%) de proteínas, lípidos, minerales y carbohidratos en base seca (bs) de harinas de garbanzo crudo (HGC) y extrudido (HGE). Respecto al porcentaje de proteína, estadísticamente se observaron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) obteniendo valores de 22.04 % para HGC y 21.08 % para HGE, por lo que podemos observar que el **proceso de extrusión mostró un efecto significativo en el contenido de este componente**. Diversos autores han reportado **resultados inferiores o superiores** en el contenido de proteína en garbanzo **crudo y extrudido** comparados con los resultados obtenidos en este estudio. De esta manera, Silvestre-De-León y col (2020) observaron un contenido de proteína en un rango de 18.84-19.74 % y Milán-Carrillo y col (2000) de 22.53-22.61 %, respectivamente. Guldiken y col (2020) evaluaron la composición química de harinas de garbanzo crudo y extrudido, cebada y una combinación garbanzo-cebada empleando las mismas condiciones de extrusión ( $T= 160\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $H= 18\%$ ,  $VT=320\text{ rpm}$ ), teniendo como resultado en harinas de garbanzo crudo y extrudido de 25 y 26.4 %, respectivamente, obteniendo un porcentaje de este componente superior a los presentados en este estudio.

Las diferencias reportadas en el contenido de proteína en los diversos estudios pueden atribuirse principalmente **al lugar de cultivo, aplicación de fertilizantes y variaciones genéticas lo cual influye en el rendimiento y concentración de proteínas de algunas semillas de leguminosas como el garbanzo, además influyen las diferencias**

**Cuadro 6.** Composición química de harina de garbanzo desi crudo y extrudido

<b>Componente (% , bs)</b>	<b>Garbanzo</b>	
	<b>Crudo</b>	<b>Extrudido</b>
Proteínas	22.04±0.31 <sup>a</sup>	21.08±0.30 <sup>b</sup>
Lípidos	3.72±0.15 <sup>b</sup>	5.89±0.29 <sup>a</sup>
Minerales	3.21±0.02 <sup>b</sup>	3.43±0.03 <sup>a</sup>
Carbohidratos	71.02±0.21 <sup>a</sup>	69.60±0.49 <sup>b</sup>

Los valores son la media ± desviación estándar de 3 repeticiones. Letras distintas en un mismo renglón muestran diferencias significativas en el proceso (Tukey,  $p < 0.05$ ).

metodológicas empleadas para la evaluación y cuantificación de proteínas (Wang y col 2010; Malik y col 2012).

Al evaluar el contenido de lípidos en las harinas cruda y extrudida (**Cuadro 6**) se mostraron contenidos de 3.72 y 5.89%, respectivamente, encontrando diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ), siendo la HGE la que mostró el mayor porcentaje. Milán-Carrillo y col (2002) reportaron una tendencia similar a la obtenida en este estudio, reportando un mayor contenido de lípidos en harinas extrudidas de garbanzo (5.01 % vs 5.28 %). Otros autores como Silvestre-De-León y col (2020) y Guldiken y col (2020) mostraron una tendencia similar a los datos generados en este trabajo al evaluar el contenido de lípidos en garbanzo crudo y extrudido. Sin embargo, Marzo y col (2002) extrudieron frijol obteniendo una reducción en el contenido de lípidos.

Cambios en el contenido lipídico con diferencias significativas son asociadas a las condiciones empleadas en el proceso de extrusión como lo son la velocidad de tornillo, estrés mecánico, temperatura y bajo contenido de humedad, lo que favorece una liberación de grasa en la matriz ocasionando ruptura en los tejidos y formación de complejo lípido-almidón (Silvestre-De-León y col 2020).

Por otro lado, al cuantificar contenido de cenizas (minerales) se observó un aumento significativo en HGE (3.43%) en comparación con la HGC (3.21%). Milán-Carrillo y col (2002) obtuvieron resultados similares, concluyendo que el resultado de este componente se ve influenciado por las condiciones de extrusión empleadas en el proceso, ya que dependiendo de la temperatura de extrusión puede provocarse la concentración de componentes químicos, así como la liberación a acoplamiento de biomoléculas. El contenido de carbohidratos fue calculado por diferencia, encontrando

valores de 71.02% para HGC y de 69.60% para HGE, mostrando diferencia significativa ( $p \leq 0.05$ ).

## **B EFECTO DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN SOBRE LAS PROPIEDADES TECNOFUNCIONALES EN HARINA DE GARBANZO DESI CRUDO Y EXTRUDIDO**

Hoy en día, las características tecno-funcionales (propiedades fisicoquímicas) en alimentos son de gran relevancia debido a la incorporación de harinas, principalmente de leguminosas, ya sea como base y/o ingrediente dentro de los componentes, las cuales juegan un papel importante en la elaboración, proceso y estructura del producto final. Las harinas de leguminosas tanto cruda como procesada son afectadas principalmente por el contenido de carbohidratos y proteínas (Aguilera 2009; Badia-Olmos y col 2023).

En el presente estudio se evaluaron diversas características funcionales como: índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad en agua (ISA), índice de absorción de aceite (IAAc), dispersabilidad, capacidad de formación de espuma (CFE), estabilidad de espuma (EE), capacidad de emulsión (CE), y estabilidad de emulsión (EEem) en harinas de garbanzo crudo y extrudido con la finalidad de observar el efecto del proceso de extrusión.

El índice de absorción de agua (IAA) (**Cuadro 7**) mostró una diferencia significativa respecto al proceso de extrusión observando valores de 2.12 g gel/g muestra (bs) para harina de garbanzo crudo (HGC) y 3.02 g gel/g de muestra (bs) para

**Cuadro 7.** Evaluación de características tecnofuncionales en harinas de garbanzo desi crudo y extrudido

<b>Características funcionales</b>	<b>Harina de garbanzo</b>	
	<b>Crudo</b>	<b>Extrudido</b>
Índice de absorción de agua <sup>1</sup>	2.12±0.01 <sup>b</sup>	3.02±0.10 <sup>a</sup>
Índice de solubilidad en agua <sup>2</sup>	22.82±0.11 <sup>b</sup>	25.47±0.11 <sup>a</sup>
Índice de absorción de aceite <sup>3</sup>	1.17±0.12 <sup>a</sup>	0.93±0.12 <sup>a</sup>
Dispersabilidad (%)	29.33±1.15 <sup>a</sup>	30.00±0.00 <sup>a</sup>
Capacidad de emulsión (%)	49.16±1.44 <sup>a</sup>	12.30±0.34 <sup>b</sup>
Estabilidad de emulsión (%)	98.33±2.89 <sup>a</sup>	25.00±0.00 <sup>b</sup>
Formación de espuma (%)	12.06±0.65 <sup>a</sup>	7.04±1.03 <sup>b</sup>
Estabilidad de espuma (%)	9.43±0.17 <sup>a</sup>	5.04±0.90 <sup>b</sup>

Los valores son la media ± desviación estándar (n=3). Letras diferentes en un mismo renglón son estadísticamente distintas (Tukey,  $p < 0.05$ ). <sup>1</sup>IAA (g gel/g muestra, bs); <sup>2</sup>ISA (g sólido/ g muestra, bs); <sup>3</sup>IAAc (mL de aceite absorbido/ g muestra, bs).

garbanzo extrudido (HGE), por lo que el proceso de extrusión mostró un efecto en esta característica. Milán-Noris y col (2019) obtuvieron resultados similares a los mostrados en este estudio, sin embargo Kaur y Singh (2005) evaluaron esta característica en diferentes cultivares de garbanzo desi y kabuli obteniendo valores inferiores a los reportados en este estudio. El IAA por lo general se encuentra relacionado con interacciones almidón-agua y la capacidad de gelificación. Además, las harinas contienen otros componentes como proteínas y fibras que pueden inducir diferentes interacciones con el agua (Granito y col 2007; Milán-Noris y col 2019).

En el **Cuadro 7** se muestra el índice de solubilidad en agua (ISA) donde se pueden observar valores de 22.82 y 25.47 g sólido/ g muestra (bs) para HGC y HGE, respectivamente, mostrando diferencias estadísticas significativas. Milán-Noris y col (2019) evaluaron propiedades tecno-funcionales de distintos cultivares de garbanzo obteniendo valores de ISA en rangos de 17.51 a 28.2%; por otro lado Espinosa-Ramírez y col (2021) evaluaron ISA en distintos granos para observar el efecto de extrusión obteniendo en garbanzo un aumento de 27.95 a 35.56 %, dicho aumento significativo es atribuido a las condiciones severas de extrusión aumentando ISA pero disminuyendo la retención de agua. ISA es un indicador sobre los cambios de almidón y degradación de distintos componentes moleculares, durante el proceso de extrusión el ISA mide la cantidad de polisacárido soluble liberado a partir del almidón de los productos extrudidos (Ali y col 2016).

Al someter el garbanzo crudo al proceso de extrusión dió como resultado una disminución (**Cuadro 7**) en el índice de absorción de aceite (IAAc) siendo de 1.17 mL de aceite absorbido/ g de muestra (bs) para garbanzo crudo a 0.93 mL de aceite

absorbido/ g de muestra (bs) en garbanzo extrudido. Dicha disminución en IAAC puede ser debido a una reducción entre interacciones hidrofóbicas superficiales de las proteínas ocasionada por las altas temperaturas empleadas en los procesos, en este caso en el proceso de extrusión, debido a que pueden ocurrir cambios conformacionales como la desnaturalización irreversible de la proteína, gelatinización del almidón e hinchamiento de la fibra dietética (Granito y col 2007; Chaparro A. y col 2011).

Estudios de esta naturaleza realizados en leguminosas han observado una tendencia parecida a la observada en este estudio. Granito y col (2007) observaron apreciables reducciones de IAAC tras el proceso de cocción en muestras de frijol (33 %). Chaparro Acuña y col (2011) obtuvieron resultados de 1.89 mL de aceite absorbido/ g de muestra cocida de vitabosa (*Mucuna deeringiana*) obteniendo 0.23 mL de aceite absorbido/ g en harina de vitabosa sin tratamiento.

En el caso de porcentaje de dispersabilidad (**Cuadro 7**) en harina de garbanzo crudo se obtuvo un 29.33 % mientras que para la harina extrudida fue de 30%, no se mostraron diferencias significativas. Estudios previos en garbanzo extrudido han mostrado un porcentaje de dispersabilidad de 25 % a 35 %, por lo que sugieren que este proceso podría mejorar dicha característica funcional (Milán-Carrillo y col 2000); sin embargo, ellos utilizaron harina de garbanzo kabuli y en nuestro estudio se analizó harina integral de garbanzo desi, el cual presenta un porcentaje de testa mayor. No obstante, estos datos son útiles en el diseño de nuevos productos como bebidas funcionales.



El procesamiento de extrusión provocó un cambio significativo ( $p < 0.05$ ) en las propiedades funcionales de capacidad y estabilidad de emulsión (**Cuadro 7**) observándose que la HGC presentó una CE de 49.16 % y una EEm de 98.33 %, mientras que en la HGE dichas características disminuyeron considerablemente siendo de 12.30 % para CE y de 25 % para EEm. Kaur y Singh (2005) obtuvieron valores en rangos de 76 a 82.1% en cultivares de garbanzo desi y kabuli sin procesar. Por lo que la disminución presentada en este estudio puede deberse principalmente a la alta temperatura empleada en el proceso de extrusión.

En la capacidad de formación (CFE) y estabilidad de espuma (EE) (**Cuadro 7**) se obtuvieron diferencias significativas después del procesamiento por extrusión siendo el porcentaje de formación de espuma en la HGC de 12.06 % y el de estabilidad de espuma de 9.43 % y, en las harinas extrudidas (HGE) de 7.04 % para la CFE y 5.04 % para la EE. García Pacheco y col (2019) concluyen que las proteínas presentes en leguminosas después de someterse a la exposición a altas temperaturas provocan que estas sean desnaturalizadas por lo cual disminuye el poder espumante de las harinas, debido a la agregación y precipitación de las proteínas.

## **C CONCENTRACIÓN DE PROTEÍNAS OBTENIDAS DE HARINA DE GARBANZO DESI CRUDO Y EXTRUDIDO**

Los concentrados proteínicos (CP) se obtuvieron a partir de la precipitación isoelectrónica (pH 4.5) de harinas de garbanzo crudo o extrudido previamente desgrasadas. El contenido de proteína en dichas harinas fue de 22.04 % para HGC y

21.08 % para HGE, mientras que el porcentaje de proteína fue de 73.86 % para el concentrado proteínico de garbanzo crudo (CPC) y de 36.76 % para el concentrado proteínico de garbanzo extrudido (CPE). Además, el contenido de compuestos fenólicos en los CPC y CPE (1.08 y 1.16 mg EAG/ g) disminuyó en relación con sus respectivas harinas. En cuanto a los valores de contenido de proteínas de ambos CP reportados en este trabajo son menores que los datos señalados por Kaur y Singh (2007) quienes evaluaron concentrados proteínicos en diferentes cultivares de garbanzo observando un contenido de proteínas en muestras crudas entre 89.9 - 94.3 %. Asimismo, Torres-Fuentes y col (2011) obtuvieron un aislado proteínico de garbanzo kabuli crudo con un 94 % de contenido de proteína, mientras que Juárez-Chairez y col (2022) obtuvieron un concentrado con un 79.92 % de proteína. Por otro lado, Sánchez-Chino y col (2019) reportaron un menor contenido de proteína (69.84 %) en garbanzo kabuli comparado con el contenido obtenido en el presente estudio en concentrados proteínicos de harina de garbanzo desi crudo.

La diferencia entre el contenido de proteína entre los CP obtenidos de garbanzo desi crudo y extrudido pueden ser debida a que en el proceso de extrusión se utilizó una alta temperatura que podría provocar la desnaturalización de las proteínas y cambio en la estructura de algunos componentes alterando la solubilidad y provocando reducción del contenido de proteínas. Además, de que los CP fueron lavados con los disolventes acetona y metanol pudiendo arrastrar proteínas acomplejadas con otros compuestos como los taninos. De igual manera, las diferencias reportadas en comparación con otros autores se podrían atribuir a la localización del cultivo ya que las condiciones ambientales pueden variar de un lugar a otro, variaciones genéticas,

tratamiento térmico y diferencias metodológicas empleadas para la evaluación y cuantificación de proteínas (Wang y col 2010; Malik y col 2012).

## **D EVALUACIÓN DEL EFECTO DE LA EXTRUSIÓN E HIDRÓLISIS ENZIMÁTICA DE GARBANZO DESI SOBRE LA PROTEÍNA SOLUBLE, EL PERFIL DE PROTEÍNAS Y GRADO DE HIDRÓLISIS**

### **1 Proteína soluble**

En el **Cuadro 8** se muestra el contenido de proteína soluble (PS) en harina, concentrado e hidrolizado proteínico de garbanzo crudo y extrudido. La concentración de PS de harina de garbanzo cruda y extrudida fue de 152.43 y 48.7 mg/ g, respectivamente, mostrando diferencia estadística significativa con un incremento de 3 veces de PS en la muestra de garbanzo crudo. En cuanto a la PS en el concentrado proteínico de garbanzo crudo, se vio incrementada 2 veces en comparación con el concentrado de garbanzo extrudido. Asimismo, el contenido de PS en el hidrolizado proteínico de garbanzo crudo fue más alto (hasta 2.6 veces) que en el hidrolizado de garbanzo extrudido. Silvestre-De-León y col (2020) evaluaron la PS en garbanzo crudo y extrudido, para lo cual extrudieron garbanzo en tres combinaciones diferentes de humedad, temperatura de extrusión y velocidad de tornillo, teniendo como resultado una tendencia similar a la reportada en este estudio, ya que observaron que la PS disminuyó en las tres muestras obtenidas de garbanzo extrudido en relación con el garbanzo crudo. Dicha disminución de PS en harina extrudida podría atribuirse a la

**Cuadro 8.** Contenido de proteína soluble en harina, concentrados e hidrolizados proteínicos de garbanzo desi crudo y extrudido.

<b>Muestra*</b>	<b>Garbanzo</b>	
	<b>Crudo</b>	<b>Extrudido</b>
Harina	152.43±1.64 <sup>a</sup>	48.70±1.93 <sup>b</sup>
Concentrado proteínico	164.23±2.92 <sup>a</sup>	83.35±5.80 <sup>b</sup>
Hidrolizado proteínico	525.29±12.15 <sup>a</sup>	194.61±7.00 <sup>b</sup>

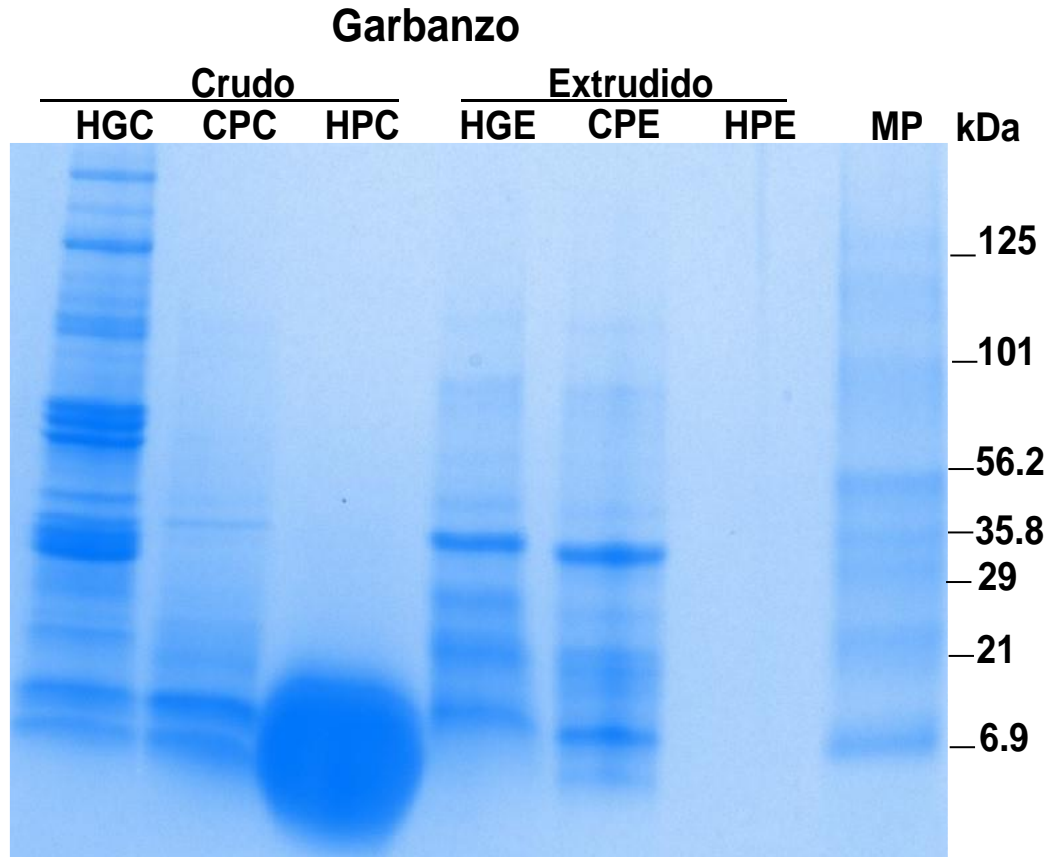
\*mg/ g de muestra en base seca (bs). Los valores indican las medias ± la desviación estándar. Letras distintas en el mismo renglón señalan diferencias significativas entre proceso (Tukey,  $p < 0.05$ ).

formación de enlaces disulfuros formados en el proceso de extrusión, debido a los cambios en la conformación proteínica e interacciones con otras macromoléculas o bien, a que las altas temperaturas empleadas en la extrusión provocan desnaturalización y agregación de proteínas disminuyendo su solubilidad (Wang y col 2019; Silvestre-De-León y col 2020; Nasrollahzadeh y col 2023).

Es importante recalcar que la hidrólisis secuencial de los concentrados proteínicos tanto de garbanzo crudo como extrudido con enzimas digestivas (pepsina-pancreatina), mejoró el contenido de proteína soluble en los dos hidrolizados proteínicos resultantes siendo de 3 y 2 veces superior, respectivamente. Dicho comportamiento puede ser atribuido a diversos factores como son la formación de péptidos de bajo peso molecular, el aumento de péptidos solubles a partir de agregados o precipitados insolubles relacionados a un incremento del amino ionizable y de grupos carboxilo (Montoya-Rodríguez y col 2014; Ghribi y col 2015). Por su parte, Milán-Noris y col (2018) reportaron una tendencia similar a la obtenida en este estudio al evaluar PS en digeridos proteínicos de garbanzo cocido desi y kabuli, sugiriendo que el tratamiento térmico hace que las proteínas se vuelvan más digeribles y biodisponibles.

## **2 Perfil electroforético de proteínas (SDS-PAGE)**

El perfil de proteínas se realizó a través de una electroforesis en geles de poliacrilamida con duodecil sulfato de sodio (SDS-PAGE) mostrado en la **Figura 5**. El patrón de proteínas de la harina de garbanzo crudo (HGC) presentó un rango de bandas de 6.9 kDa a >125 kDa, a diferencia de la harina de garbanzo extrudido (HGE)



**Figura 5.** Perfil electroforético de proteínas (SDS-PAGE). Garbanzo crudo: Harina (HGC, línea 1), concentrado proteínico (CPC, línea 2), hidrolizado proteínico (HPC, línea 3). Garbanzo extrudido: Harina (HGE, línea 4), concentrado proteínico (CPE, línea 5), hidrolizado proteínico (HPE, línea 6) y marcador de peso molecular (MP, línea 7).

que mostró un patrón con menos bandas de bajo peso molecular (6.9 a 101 kDa) y de menor intensidad, lo cual concuerda con la disminución en el contenido de proteína soluble encontrada en la harina extrudida. En los concentrados proteínicos de garbanzo crudo (CPC) y extrudido (CPE) bajó el número de bandas de menor tamaño y se observó degradación de bandas de mayor peso molecular en relación con las harinas cruda y extrudida. En cuanto al hidrolizado proteínico de garbanzo crudo (HPC), se encontró que se produjeron bandas  $\leq 6.9$  kDa, mientras que en el hidrolizado de garbanzo extrudido (HPE) no se observan bandas confirmándose con ello que la hidrólisis secuencial con pepsina-pancreatina se realizó de manera correcta y generó péptidos de tamaño menor a 6.9 kDa (**Figura 5**), los cuales podrían presentar actividades biológicas.

Según el perfil proteínico de garbanzo crudo reportado por Serrano-Sandoval y col (2019), el patrón de bandas obtenido en este estudio podría corresponder a las siguientes fracciones: convicilina (68–72 kDa), subunidad principal de vicilina (48–50 kDa), leguminas  $\alpha$  (40–44 kDa), subunidad menor de vicilina (25–28, 30, 34–37 kDa), legumina  $\beta$  (20 kDa) y lectina  $\beta$  (< 20 kDa). Sin embargo, después de la extrusión de garbanzo se presentó un cambio en el perfil proteínico en las muestras de HGE y CPE observándose la desaparición de bandas de mayor peso molecular y en algunas bandas disminuyó su intensidad posiblemente debido a la desnaturalización de proteínas ocasionada por la alta temperatura empleada. Al hidrolizar el CPE se obtuvieron péptidos pequeños (< 6.9 kDa), lo cual puede deberse a que los sitios de corte de las enzimas quedaron más expuestos al desnaturalizarse las proteínas por las condiciones de procesamiento empleadas. Montoya-Rodríguez y col (2014)

reportaron un patrón de proteínas similar al observado en este trabajo tanto en amaranto crudo y extrudido como en sus hidrolizados. Por su parte, Navarro-Leyva y col (2023) analizaron albúminas de garbanzo crudo, las cuales hidrolizaron con alcalasa y pepsina-pancreatina obteniendo un perfil proteínico parecido al de este estudio en la muestra cruda y en el hidrolizado de pepsina-pancreatina.

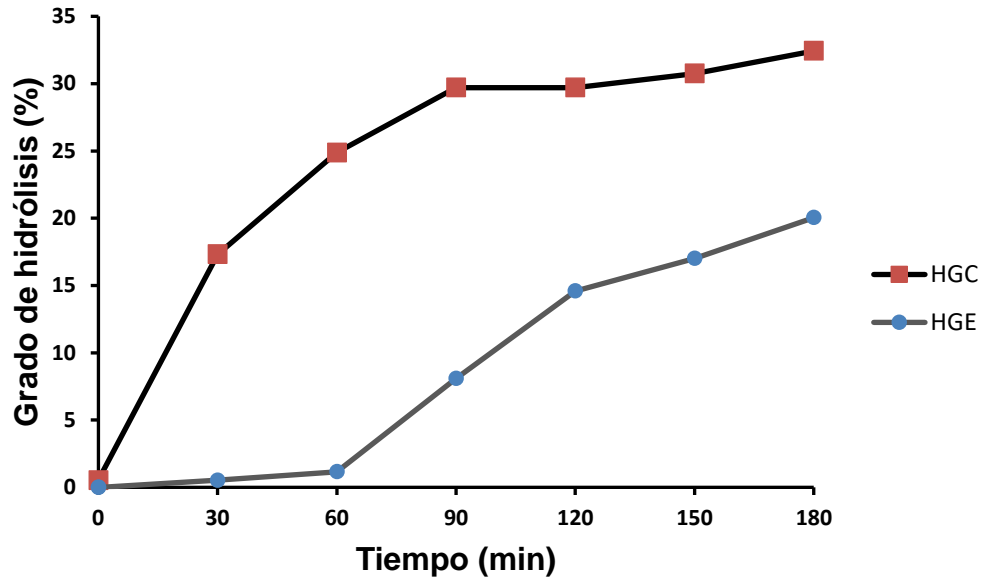
### **3 Grado de hidrólisis (GH)**

La hidrólisis de proteínas se lleva a cabo empleando enzimas, ya sean solas o en combinación (pepsina, pancreatina, tripsina, alcalasa, etc.) liberándose péptidos pequeños con secuencias de 3 a 20 aminoácidos con posibles actividades biológicas (Sánchez y Vázquez 2017). En este trabajo las proteínas de garbanzo se hidrolizaron secuencialmente con pepsina-pancreatina. Durante la hidrólisis proteínica, la pepsina rompe el grupo amino de aminoácidos aromáticos produciendo polipéptidos de peso molecular alto, mientras que la pancreatina es una mezcla de endo- y exopeptidasas que actúan sobre el grupo carboxilo de arginina y lisina que no estén seguidas de prolina (tripsina) o en los grupos carboxilo de aminoácidos aromáticos (quimiotripsina) y, también se eliminan carboxilos terminales (carboxipeptidasas) generando péptidos de bajo peso molecular. El GH se puede determinar durante el tiempo que transcurre el tratamiento permitiendo conocer el porcentaje del número total de enlaces peptídicos rotos en la proteína durante la hidrólisis, lo cual nos podría proporcionar información sobre los péptidos generados como su peso molecular, composición y secuencia de aminoácidos y actividad biológica (Adler-Nissen 1986; Sánchez y Vázquez 2017; Navarro-Leyva y col 2023). Para la determinación del GH se pueden



emplear diferentes metodologías tales como TNBS, OPA o pH stat, en este análisis se utilizó el método de TNBS (Spellman y col 2003).

En la **Figura 6** se muestra la cinética de la hidrólisis de los concentrados proteínicos obtenidos de harina de garbanzo crudo o extrudido tratados secuencialmente con las enzimas pepsina (60 min) y pancreatina (120 min) durante un tiempo total de 180 minutos, observándose que el hidrolizado proteínico de garbanzo crudo presentó un mayor GH (32.43 %) que el hidrolizado de garbanzo extrudido (20.05 %), lo cual podría ser atribuido a la gran cantidad de proteínas nativas de alto peso molecular en el garbanzo crudo en relación con las proteínas de garbanzo extrudido previamente mostradas en el perfil proteínico, además durante la extrusión las proteínas experimentan cambios estructurales o bien, pueden interaccionar con otras proteínas o con macromoléculas (almidón). Resultados similares fueron reportados por Montoya-Rodríguez y col (2014) al evaluar el GH de proteínas de amaranto sin extrudir y extrudido tratadas con pepsina-pancreatina encontrando que la hidrólisis de la muestra cruda presentó mayor GH que la extrudida. Moreno y col (2020) obtuvieron un porcentaje inferior (21.50 %) en el GH de garbanzo crudo digerido con pepsina-pancreatina, mientras que Navarro-Leyva y col (2023) reportaron un mayor porcentaje (50.20 %) al hidrolizar albúminas de garbanzo crudo con pepsina-pancreatina. Las diferencias señaladas en el grado de hidrólisis reportadas en los distintos estudios podrían ser atribuidas a los genotipos de garbanzo, tipos de proteínas de garbanzo, la pureza de las enzimas empleadas, el procesamiento dado a la muestra y a la metodología usada para su determinación.



**Figura 6.** Grado de hidrólisis de concentrados proteínicos de garbanzo tratados secuencialmente con las enzimas pepsina (0-60 min) y pancreatina (60-180 min). HGC, hidrolizados proteínicos de garbanzo crudo. HGE, hidrolizados proteínicos de garbanzo extrudido.

## **E CAPACIDAD ANTIOXIDANTE (ABTS, ORAC Y DPPH) DE CONCENTRADOS E HIDROLIZADOS PROTEÍNICOS DE GARBANZO CRUDO Y EXTRUDIDO**

En el **Cuadro 9** se muestra la capacidad antioxidante (CA) de concentrado proteínico (CPC) e hidrolizado proteínico (HPC) de garbanzo crudo y de concentrado proteínico (CPE) e hidrolizado proteínico (HPE) de garbanzo extrudido evaluados por los métodos de ABTS, ORAC y DPPH. El análisis por ABTS y ORAC se realizó a 10 mg/ mL en cada muestra y por DPPH fue a 100 mg/ mL. En cuanto a la CA por ABTS, se observó que el HPC (647.30  $\mu\text{mol ET/ g}$ ) presentó un incremento de 15 veces en relación con el CPC (43.48  $\mu\text{mol ET/ g}$ ) y en el HPE (223.58  $\mu\text{mol ET/ g}$ ) fue de 5 veces más que el CPE (46.44  $\mu\text{mol ET/ g}$ ). Misma tendencia ocurrió por ORAC en ambos tipos de muestras siendo la CA 8 veces mayor en el HPC (357.50  $\mu\text{mol ET/ g}$ ) comparado con el CPC (43.50  $\mu\text{mol ET/ g}$ ), mientras que en las muestras extrudidas el HPE (213.75  $\mu\text{mol ET/ g}$ ) tuvo un aumento de 4.5 veces con relación a su concentrado proteínico (47.25  $\mu\text{mol ET/ g}$ ). La CA por DPPH fue superior 2.3 veces en el HPC (27.87  $\mu\text{mol ET/ g}$ ) en relación con el CPC (11.73  $\mu\text{mol ET/ g}$ ). También se observó un incremento de la CA por este mismo método en el HPE (20.46  $\mu\text{mol ET/ g}$ ) comparado con el CPE (15.68  $\mu\text{mol ET/ g}$ ). Los diferentes valores de CA reportados por los tres métodos podrían ser debido a los distintos mecanismos involucrados, ya que ABTS está relacionado con la transferencia de electrones o átomos de hidrógeno, mientras que ORAC y DPPH a la transferencia de átomos de hidrógeno (Craft y col 2012; Quintero-Soto y col 2021; Navarro-Leyva y col 2023).

**Cuadro 9.** Evaluación de la capacidad antioxidante de concentrados e hidrolizados proteínicos de garbanzo desi crudo y extrudido.

	<b>Garbanzo</b>	
	<b>Crudo</b>	<b>Extrudido</b>
<b>ABTS*</b>		
Concentrado proteínico	43.48±1.25 <sup>a</sup>	46.44±2.84 <sup>a</sup>
Hidrolizado proteínico**	647.30±43.71 <sup>a</sup>	223.58±12.33 <sup>b</sup>
<b>ORAC*</b>		
Concentrado proteínico	43.50±1.29 <sup>b</sup>	47.25±1.50 <sup>a</sup>
Hidrolizado proteínico**	357.50±2.89 <sup>a</sup>	213.75±11.09 <sup>b</sup>
<b>DPPH*</b>		
Concentrado proteínico	11.73±0.40 <sup>a</sup>	15.68±2.45 <sup>a</sup>
Hidrolizado proteínico**	27.87±3.42 <sup>a</sup>	20.46±0.54 <sup>b</sup>

\*µmol ET/ g muestra seca. \*\*Fracciones <10 kDa. Los valores indican las medias ± la desviación estándar. Letras distintas en un mismo renglón señalan discrepancia significativa entre procesos (Tukey,  $p < 0.05$ ).

Además, los resultados de este estudio permitieron observar que los concentrados proteínicos tanto de garbanzo crudo como extrudido poseen capacidad antioxidante, pero al someter a dichos concentrados a una hidrólisis secuencial con las enzimas digestivas pepsina-pancreatina, la capacidad antioxidante evaluada por tres métodos, se ve incrementada en ambos hidrolizados (**Cuadro 9**), probablemente debido a la generación de péptidos pequeños como se puede observar en la **Figura 5** probablemente conformados de aminoácidos con poder antioxidante. Al igual que en este estudio, Sánchez-Chino y col (2019) reportaron una mayor actividad antioxidante por ABTS de hidrolizados de garbanzo crudo obtenidos con una combinación secuencial de pepsina y pancreatina atribuyéndolo a una mayor variedad de secuencias peptídicas generadas al usar dos enzimas con dos sitios de acción diferente y por ende, más puntos de corte, lo que podría originar péptidos con diversas actividades biológicas. Tal es el caso de Navarro-Leyva y col (2023), quienes reportaron actividad antioxidante, antiinflamatoria, hipoglicémica y antihiperlipidémica de hidrolizados de albúminas de garbanzo desi (color negro) crudo preparados con pepsina-pancreatina obteniendo una actividad antioxidante por el método ABTS de  $173.7 \pm 1.18 \mu\text{mol ET/g}$  y de  $15.0 \pm 0.48 \mu\text{mol ET/g}$  por DPPH, valores inferiores a los observados en el presente trabajo por ambos métodos.

Varias investigaciones enfocadas a la evaluación de hidrolizados de garbanzo con bioactividades han identificado diferentes péptidos antioxidantes mediante el uso de técnicas como la cromatografía líquida de alta resolución fase reversa acoplada a espectrometría de masas en tándem (RP-HPLC-MS/MS), LC-ESI-MS/MS y MALDI-TOF. Dichos péptidos pueden conformarse por aminoácidos hidrofóbicos tales como

prolina (Pro), fenilalanina (Phe), alanina (Ala), valina (Val), isoleucina (Ile) y glicina (Gly), y también de aminoácidos no hidrofóbicos como tirosina (Tyr), serina (Ser), ácido aspártico (Asp), histidina (His), glutamina (Gln) y arginina (Arg), por lo que la actividad antioxidante de un péptido no solamente se le atribuye a su bajo peso molecular, sino también a su secuencia y composición única de aminoácidos, hidrofobicidad y aminoácido N- o C- terminal. Como sería el caso de aminoácidos aromáticos que neutralizan radicales libres por donación de electrones conservando su estabilidad mediante su estructura de resonancia, en los casos de Asp estabiliza radicales libres con el grupo carboxilo de su cadena lateral y, Gly donando protones (Zhang y col 2011; Ghribi y col 2015; Torres-Fuentes y col 2015; Matemu y col 2021; Quintero-Soto y col 2021).

Cabe señalar que la extrusión no tuvo impacto drástico sobre la capacidad antioxidante de las muestras analizadas aunque se observó una disminución de ésta en el hidrolizado proteínico de garbanzo extrudido; además, las condiciones del proceso de extrusión que se usaron en este estudio, velocidad de tornillo y temperatura, se optimizaron en un trabajo previo (Chávez-Ontiveros 2023) para tener las mejores variables de respuesta entre las cuales se tenía la capacidad antioxidante. Por lo tanto, los concentrados e hidrolizados proteínicos de garbanzo de desi crudos y extrudidos evaluados en esta investigación serían un buen ingrediente en la manufactura de alimentos funcionales debido a sus propiedades antioxidantes.

## F POTENCIAL ANTIDIABÉTICO DE CONCENTRADOS E HIDROLIZADOS PROTEÍNICOS DE GARBANZO DESI CRUDO Y EXTRUDIDO

Los carbohidratos consumidos en la dieta sufren un proceso de hidrólisis por las enzimas  $\alpha$ -amilasa pancreática (rompe los enlaces alfa de los polisacáridos como el almidón y glucógeno) y  $\alpha$ -glucosidasa intestinal (rompe los enlaces  $\alpha$ -1,4 de extremos no reductores) descomponiendo oligosacáridos y disacáridos en monosacáridos (D-glucosa) para realizar una absorción adecuada. En los últimos años se han realizado diversos estudios, donde se ha concluido que la inhibición de  $\alpha$ -amilasa y  $\alpha$ -glucosidasa es útil para ejercer el tratamiento de la diabetes no insulino dependiente, debido a que ocasiona un retraso en la liberación de glucosa a la sangre, por lo que a partir de hidrolizados proteínicos de garbanzo en los cuales se han encontrado secuencias peptídicas con inhibición de DPPIV,  $\alpha$ -glucosidasa y  $\alpha$ -amilasa (Ercan y El 2016; Chandrasekaran y col 2020; Acevedo Martínez y Gonzalez de Mejia 2021).

En este estudio, los concentrados e hidrolizados proteínicos de garbanzo se evaluaron a una misma concentración (10 mg/ mL) mostrando una inhibición de la enzima  $\alpha$ -glucosidasa de 30.37 y 47.78% en concentrado e hidrolizado de garbanzo crudo y, de 21.44 y 68.00 % en extrudido, respectivamente. En cuanto a la inhibición de  $\alpha$ -amilasa fue de 35.90 y 42.31 % en las muestras de garbanzo crudo y, de 11.96 y 55.13 % en extrudido, respectivamente (**Cuadro 10**). Los porcentajes obtenidos de inhibición de  $\alpha$ -glucosidasa están dentro del rango de 32 a 66 % reportado por Acevedo Martínez y Gonzalez de Mejia (2021) quienes evaluaron hidrolizados de pepsina-pancreatina a 10 mg/ mL de 5 variedades de garbanzo precocido, mientras que para

**Cuadro 60.** Actividad inhibitoria de  $\alpha$ -glucosidasa y  $\alpha$ -amilasa de concentrados e hidrolizados proteínicos de garbanzo desi crudo y extrudido

% de Inhibición*	Garbanzo	
	Crudo	Extrudido
<b><math>\alpha</math>-glucosidasa</b>		
Concentrado proteínico	30.37 $\pm$ 1.82 <sup>a</sup>	21.44 $\pm$ 1.84 <sup>b</sup>
Hidrolizado proteínico	47.78 $\pm$ 0.17 <sup>b</sup>	68.00 $\pm$ 0.05 <sup>a</sup>
<b><math>\alpha</math>-amilasa</b>		
Concentrado proteínico	35.90 $\pm$ 2.56 <sup>a</sup>	11.96 $\pm$ 0.74 <sup>b</sup>
Hidrolizado proteínico	42.31 $\pm$ 5.88 <sup>b</sup>	55.13 $\pm$ 0.09 <sup>a</sup>

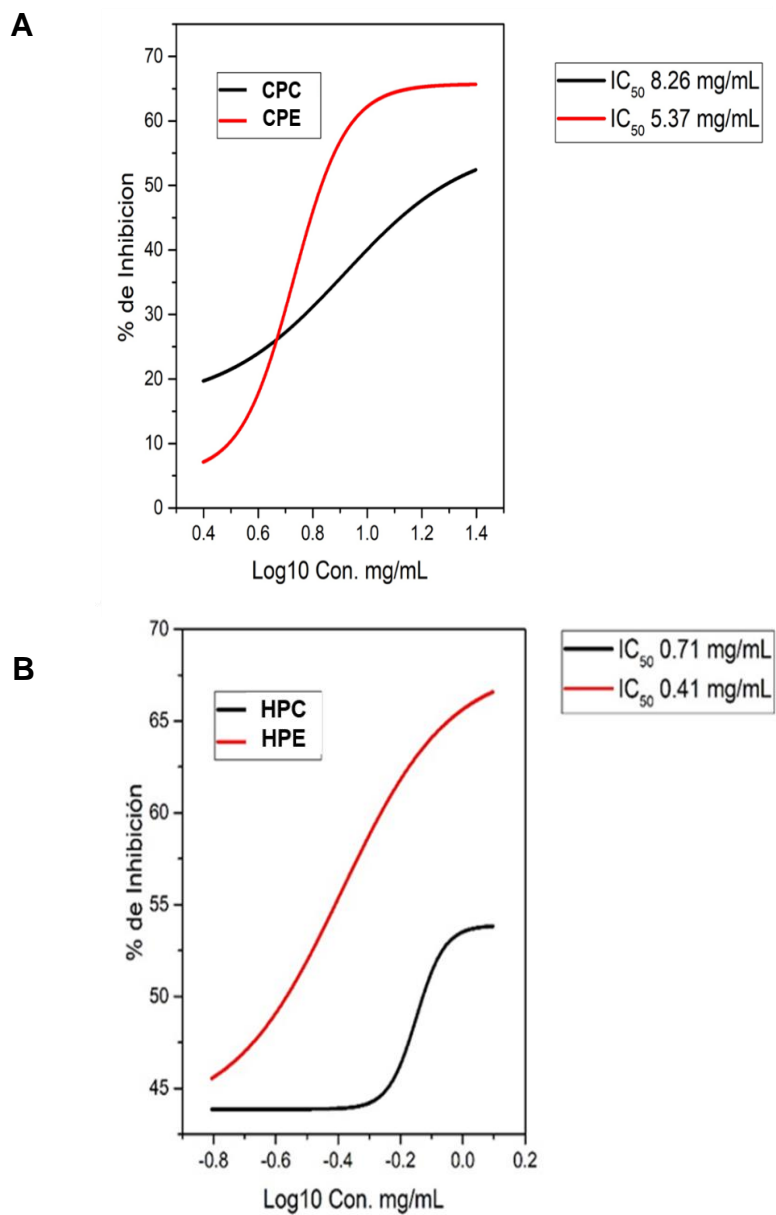
\*Los resultados fueron expresados como porcentaje de inhibición en 10 mg/ mL de muestra. Los valores indican las medias  $\pm$  la desviación estándar. Letras distintas en el mismo renglón muestran significativas diferencias entre proceso (Tukey,  $p < 0.05$ ).



para  $\alpha$ -amilasa solamente observaron un porcentaje de inhibición superior al 50 % en el hidrolizado de una variedad evaluada a 0.100 mg/ mL. Por su parte, Navarro-Leyva y col (2023) analizaron hidrolizados de albúminas de garbanzo con pepsina-pancreatina a 100 mg/mL reportando porcentajes de inhibición de  $\alpha$ -glucosidasa de 52.4 %.

Por lo que respecta a los hidrolizados de garbanzo extrudido, se observa un incremento significativo en el porcentaje de inhibición de ambas enzimas (**Cuadro 70**), por lo que podemos decir que el procesamiento por extrusión junto con la hidrólisis con enzimas digestivas impactó en el aumento del porcentaje de dichas inhibiciones. Resultados similares en la actividad inhibitoria de  $\alpha$ -amilasa fueron reportados por varios investigadores quienes evaluaron hidrolizados de garbanzo sometidos a un tratamiento por calor (Acevedo Martínez y Gonzalez de Mejia 2021; Arnal y col 2023).

La concentración media inhibitoria ( $IC_{50}$ ) de la enzima  $\alpha$ -glucosidasa (**Figura 7**) fue evaluada en concentrados proteínicos de garbanzo crudo (CPC) y extrudido (CPE), así como en hidrolizados proteínicos de garbanzo crudo (HPC) y extrudido (HPE), ya que presentó un comportamiento dosis respuesta y una mejor inhibición comparado con la enzima  $\alpha$ -amilasa (**Cuadro 10**). Los concentrados proteínicos (**Figura 7, A**) se evaluaron a concentraciones de 100, 50, 25 y 10 mg/ mL para obtener mayores porcentajes de inhibición resultando  $IC_{50}$  de 8.26 mg/ mL para CPC y de 5.37 mg/ mL para CPE. En cuanto a los hidrolizados proteínicos (**Figura 7, B**) se



**Figura 7.** Determinación del IC<sub>50</sub> de la enzima  $\alpha$ -glucosidasa de concentrados e hidrolizados de garbanzo desi crudo y extrudido. A: CPC, Concentrado proteínico de garbanzo crudo. CPE, Concentrado proteínico de garbanzo extrudido. B: HPC, Hidrolizado proteínico de garbanzo crudo. HPE, Hidrolizado proteínico de garbanzo extrudido.

evaluaron a concentraciones de 10, 5, 2.5 y 1.25 mg/ mL mostrando valores de IC<sub>50</sub> en el HPC de 0.71 mg/ mL y en el HPE de 0.41 mg/ mL. Ercan y El (2016) realizaron una simulación gástrica a proteínas de garbanzo crudo reportando un IC<sub>50</sub> de 2.885 mg/ mL mayor a lo observado en este estudio. Por otro lado, Chandrasekaran y Gonzalez de Mejia (2022) trataron proteínas de garbanzo con ficina obteniendo los péptidos SPGAGKG y GLAR, los cuales presentaron un IC<sub>50</sub> para la inhibición de  $\alpha$ -glucosidasa de 1.78 y 8.74 mg/ mL, respectivamente. Las variaciones en los porcentajes de inhibición de las enzimas  $\alpha$ -glucosidasa y  $\alpha$ -amilasa y, en los valores de IC<sub>50</sub> podrían ser debidas a los métodos de extracción de proteínas, preparación de la muestra, enzimas utilizadas en el proceso de hidrólisis, condiciones de cultivo, genotipo y tratamiento de los granos (Acevedo Martínez y Gonzalez de Mejia 2021; Chandrasekaran y Gonzalez de Mejia 2022; Navarro-Leyva y col 2023). Respecto el proceso de extrusión, este tuvo un efecto positivo en el hidrolizado proteínico de garbanzo extrudido sobre la acción inhibitoria de  $\alpha$ -glucosidasa y  $\alpha$ -amilasa, ya que se observó un incremento significativo en relación con los hidrolizados de garbanzo crudo, resultados similares reportados por otros autores al utilizar temperaturas elevadas durante el procesamiento del grano (Acevedo Martínez y Gonzalez de Mejia 2021).

## IX CONCLUSIONES

Las condiciones optimizadas utilizadas durante el proceso de extrusión permiten la obtención de harinas de garbanzo desi extrudido con propiedades nutricionales y tecnofuncionales de calidad adecuada para utilizarse como una alternativa tecnológica para la elaboración de productos con potencial nutracéutico.

El grado de hidrólisis de los concentrados proteínicos de garbanzo con pepsina-pancreatina aumentó conforme transcurría el tiempo, permitiendo la generación de péptidos de bajo peso molecular y un aumento significativo en el contenido de proteína soluble sugiriendo que esta proteína podría ser más biodisponible.

El proceso de extrusión y la hidrólisis enzimática cambian el perfil de péptidos. Así mismo, la hidrólisis secuencial con pepsina-pancreatina de los concentrados proteínicos de garbanzo desi incrementa la capacidad antioxidante (ABTS, ORAC y DPPH). La extrusión no afecta drásticamente dicha capacidad en relación con la muestra de garbanzo crudo, por lo que la combinación de estos procesos son una alternativa buena para obtener hidrolizados antioxidantes.

El hidrolizado proteínico de garbanzo desi extrudido presentó un alto porcentaje de inhibición de las enzimas  $\alpha$ -amilasa y  $\alpha$ -glucosidasa en comparación con los hidrolizados de garbanzo crudo, lo cual demuestra que la extrusión de garbanzo desi permite la formación de hidrolizados con potencial antidiabético.

Los hidrolizados proteínicos de garbanzo desi poseen péptidos con potencial antioxidante y antidiabético pudiéndose utilizar para elaborar alimentos o productos funcionales para la prevención de padecimientos crónico-degenerativos.

## X BIBLIOGRAFÍA

- Abbo S, Molina C, Jungmann R, Grusak MA, Berkovitch Z, Reifen R, Kahl G, Winter P, Reifen R. 2005. Quantitative trait loci governing carotenoid concentration and weight in seeds of chickpea (*Cicer arietinum* L.). Theoretical and Applied Genetics 111(2):185-195. <https://doi.org/10.1007/s00122-005-1930-y>
- Abdulkhaleq L, Assi M, Abdullah R, Zamri-Saad M, Taufiq-Yap Y, Hezmee M. 2018. The crucial roles of inflammatory mediators in inflammation: A review. Veterinary World 11(5):627-635. <https://doi.org/10.14202/vetworld.2018.627-635>
- Acevedo Martínez KA, Gonzalez de Mejia E. 2021. Comparison of five chickpea varieties, optimization of hydrolysates production and evaluation of biomarkers for type 2 diabetes. Food Research International 147:110572. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110572>
- Acevedo Martinez KA, Yang MM, Gonzalez de Mejia E. 2021. Technological properties of chickpea (*Cicer arietinum*): Production of snacks and health benefits related to type-2 diabetes. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety 20(4):3762-3787. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12762>
- Adler-Nissen J. 1986. Enzymic hydrolysis of food proteins. London, New York, New York, NY, USA: Elsevier Applied Science Publishers ; Sole distributor in the USA and Canada : Elsevier Science Pub. Co. London, New York, New York, NY, USA.
- Aguilar-Raymundo V, Vélez-Ruiz J. 2013. Propiedades nutricionales y funcionales del garbanzo (*Cicer arietinum* L.). Temas selectos de Ingeniería de Alimentos 7(2):25-34.
- Aguilera Y. 2009. Harinas de leguminosas deshidratadas: Caracterización nutricional y valoración de sus propiedades tecno-funcionales. Universidad Autónoma de Madrid.
- Alam MS, Kaur J, Khaira H, Gupta K. 2016. Extrusion and extruded products: changes in quality attributes as affected by extrusion process parameters: a review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 56(3):445-473. <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.779568>

- Ali S, Singh B, Sharma S. 2016. Response surface analysis and extrusion process optimisation of maize–mungbean-based instant weaning food. *International Journal of Food Science & Technology* 51(10):2301-2312. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13186>
- Anderson E, Durstine JL. 2019. Physical activity, exercise, and chronic diseases: A brief review. *Sports Med Health Science* 1(1):3-10. <https://doi.org/10.1016/j.smhs.2019.08.006>
- Anderson R, Conway H, Pfeifer V, Griffin E. 1969. Gelatinization of corn grits by roll- and extrusion-cooking. *Cereal Science Today* 14(1):4-7.
- Anuonye JC, Jigam AA, Ndaceko GM. 2012. Effects of extrusion-cooking on the nutrient and anti-nutrient composition of pigeon pea and unripe plantain blends. *Journal of Applied Pharmaceutical Science* 2(5):158-162. <https://doi.org/10.7324/JAPS.2012.2533>
- AOAC. 2012. Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists Washington, DC.
- Arnal M, Gallego M, Talens P, Mora L. 2023. Impact of thermal treatments and simulated gastrointestinal digestion on the  $\alpha$ -amylase inhibitory activity of different legumes. *Food Chemistry* 418:135884. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135884>
- Arriagada O, Cacciuttolo F, Cabeza RA, Carrasco B, Schwember AR. 2022. A comprehensive review on chickpea (*Cicer arietinum* L.) breeding for abiotic stress tolerance and climate change resilience. *International Journal of Molecular Sciences* 23(12):6794. <https://doi.org/10.3390/ijms23126794>
- Badia-Olmos C, Laguna L, Haros CM, Tárrega A. 2023. Techno-functional and rheological properties of alternative plant-based flours. *Foods* 12(7):1411. <https://doi.org/10.3390/foods12071411>
- Barba Evia JR. 2018. México y el reto de las enfermedades crónicas no transmisibles. El laboratorio también juega un papel importante. *Revista Mexicana de Patología Clínica y Medicina de Laboratorio* 65(1):4-17. <https://www.medigraphic.com/pdfs/patol/pt-2018/pt181a.pdf>

- Betteridge DJ. 2000. What is oxidative stress? *Metabolism* 49(2 Suppl 1):3-8. [https://doi.org/10.1016/s0026-0495\(00\)80077-3](https://doi.org/10.1016/s0026-0495(00)80077-3)
- Brand-Williams W, Cuvelier ME, Berset C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT - Food Science and Technology* 28(1):25-30. [https://doi.org/10.1016/S0023-6438\(95\)80008-5](https://doi.org/10.1016/S0023-6438(95)80008-5)
- Bressani R. 2016. Cocción por extrusión de alimentos complementarios a base de maíz y leguminosas de grano secas, maduras e inmaduras sobre su valor tecnológico y nutritivo. En: FONACYT, editor. Convocatoria 17, Industria. Guatemala.
- Burton GJ, Jauniaux E. 2011. Oxidative stress. *Best Pract Res Clin Obstet Gynaecol* 25(3):287-299. <https://doi.org/10.1016/j.bpobgyn.2010.10.016>
- Cam A, de Mejia EG. 2012. RGD-peptide lunasin inhibits Akt-mediated NF- $\kappa$ B activation in human macrophages through interaction with the  $\alpha$ V $\beta$ 3 integrin. *Molecular Nutrition & Food Research* 56(10):1569-1581. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201200301>
- Chandrasekaran S, Gonzalez de Mejia E. 2022. Optimization, identification, and comparison of peptides from germinated chickpea (*Cicer arietinum*) protein hydrolysates using either papain or ficin and their relationship with markers of type 2 diabetes. *Food Chemistry* 374:131717. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131717>
- Chandrasekaran S, Luna-Vital D, de Mejia EG. 2020. Identification and comparison of peptides from chickpea protein hydrolysates using either bromelain or gastrointestinal enzymes and their relationship with markers of type 2 diabetes and bitterness. *Nutrients* 12(12). <https://doi.org/10.3390/nu12123843>
- Chaparro A. SP, Gil G. JH, Aristizabal T. ID. 2011. Effect of hydration and baking on the physical and functional properties of vitabosa flour (*Mucuna deeringiana*). *Vitae* 18(2):133-143. <https://doi.org/10.17533/udea.vitae.10066>
- Chaparro Acuña SP, Gil G JH, Aristizabal T ID. 2011. Effect of hydration and baking on the physical and functional properties of vitabosa flour (*Mucuna deeringiana*). *Vitae* 18(2):133-143. <https://doi.org/10.17533/udea.vitae.10066>

- Chávez-Ontiveros J. 2023. Efecto del proceso de extrusión y digestión gastrointestinal *in vitro* sobre la liberación de péptidos bioactivos a partir de harinas extrudidas de dos genotipos de garbanzo (*Cicer arietinum* L.). [Tesis de Doctorado]. Culiacán, Sinaloa, México: Universidad Autónoma de Sinaloa. 133 p.
- Chávez-Ontiveros J, Reyes-Moreno C, Ramírez-Torres GI, Figueroa-Salcido OG, Arámburo-Gálvez JG, Montoya-Rodríguez A, Ontiveros N, Cuevas-Rodríguez EO. 2022. Extrusion improves the antihypertensive potential of a kabuli Chickpea (*Cicer arietinum* L.) protein hydrolysate. *Foods* 11(17):2562. <https://doi.org/doi:10.3390/foods11172562>
- Craft BD, Kerrihard AL, Amarowicz R, Pegg RB. 2012. Phenol-based antioxidants and the *in vitro* methods used for their assessment. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 11(2):148-173. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2011.00173.x>
- Dalbhagat CG, Mahato DK, Mishra HN. 2019. Effect of extrusion processing on physicochemical, functional and nutritional characteristics of rice and rice-based products: A review. *Trends in Food Science & Technology*. 85:226-240. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.01.001>
- de Almeida Costa GE, da Silva Queiroz-Monici K, Pissini Machado Reis SM, de Oliveira AC. 2006. Chemical composition, dietary fibre and resistant starch contents of raw and cooked pea, common bean, chickpea and lentil legumes. *Food Chemistry* 94(3):327-330. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.11.020>
- de Martel C, Georges D, Bray F, Ferlay J, Clifford GM. 2020. Global burden of cancer attributable to infections in 2018: a worldwide incidence analysis. *The Lancet Global Health* 8(2):e180-e190. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(19\)30488-7](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(19)30488-7)
- Dilshara MG, Lee K-T, Jayasooriya RGPT, Kang C-H, Park SR, Choi YH, Choi I-W, Hyun J-W, Chang W-Y, Kim Y-S, Lee H-J, Kim G-Y. 2014. Downregulation of NO and PGE2 in LPS-stimulated BV2 microglial cells by trans-isoferulic acid via suppression of PI3K/Akt-dependent NF-κB and activation of Nrf2-mediated HO-1. *International Immunopharmacology* 18(1):203-211. <https://doi.org/10.1016/j.intimp.2013.11.020>



- Dueñas M, Hernández T, Estrella I. 2006. Assessment of in vitro antioxidant capacity of the seed coat and the cotyledon of legumes in relation to their phenolic contents. *Food Chemistry* 98(1):95-103. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.05.052>
- Duranti M. 2006. Grain legume proteins and nutraceutical properties. *Fitoterapia* 77(2):67-82. <https://doi.org/10.1016/j.fitote.2005.11.008>
- Elejalde Guerra JI. 2001. Estrés oxidativo, enfermedades y tratamientos antioxidantes *Anales de Medicina Interna* 18:50-59.
- Ercan P, El SN. 2016. Inhibitory effects of chickpea and *Tribulus terrestris* on lipase,  $\alpha$ -amylase and  $\alpha$ -glucosidase. *Food Chemistry* 205:163-169. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.03.012>
- Espinosa-Ramírez J, Rodríguez A, De la Rosa-Millán J, Heredia-Olea E, Pérez-Carrillo E, Serna-Saldívar SO. 2021. Shear-induced enhancement of technofunctional properties of whole grain flours through extrusion. *Food Hydrocolloids* 111:106400. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106400>
- FAOSTAT. 2023. Food and Agriculture Organization Statistical Database. Disponible en <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Consultado el 12 de octubre de 2023.
- García-Casal MN, Pons-Garcia HE. 2014. Dieta e inflamación *Anales Venezolanos de Nutrición* 27(1):47-56.
- García Pacheco Y, Cabrera Mercado D, Ballestas Santos JA, Campo Arrieta MJ. 2019. Efecto de diferentes tratamientos térmicos sobre las propiedades tecfuncionales de la harina de fríjol blanco (*Phaseolus lunatus* L.) y la determinación de su potencial uso agroalimentario. *INGE CUC* 15(2):132-142. <https://doi.org/10.1016/10.17981/ingecuc.15.2.2019.13>
- Gaviria-Acosta E, Benítez-Benítez R, Lenis L, Hoyos-Concha JL. 2015. Optimización de la hidrólisis enzimática de proteínas presentes en semillas de guandul (*Cajanus cajan*) *Journal Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial* 13(2):114-122. [http://dx.doi.org/10.18684/BSAA\(13\)114-122](http://dx.doi.org/10.18684/BSAA(13)114-122)
- Ghribi AM, Sila A, Przybylski R, Nedjar-Arroume N, Makhlof I, Blecker C, Attia H, Dhulster P, Bougatef A, Besbes S. 2015. Purification and identification of novel

- antioxidant peptides from enzymatic hydrolysate of chickpea (*Cicer arietinum* L.) protein concentrate. *Journal of Functional Foods* 12:516-525. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.12.011>
- Granito M, Brito Y, Torres A. 2007. Chemical composition, antioxidant capacity and functionality of raw and processed *Phaseolus lunatus*. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 87(15):2801-2809. <https://doi.org/10.1002/jsfa.2926>
- Grasso N, Lynch NL, Arendt EK, O'Mahony JA. 2022. Chickpea protein ingredients: A review of composition, functionality, and applications. 21(1):435-452. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12878>
- Guldiken B, Yovchev A, Nosworthy MG, Stone AK, House JD, Hood-Niefer S, Nickerson MT. 2020. Effect of extrusion conditions on the physical properties of desi chickpea-barley extrudates and quality attributes of their resulting flours. *Journal of Texture Studies* 51(2):300-307. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12470>
- Hafeez Z, Cakir-Kiefer C, Roux E, Perrin C, Miclo L, Dary-Mouro A. 2014. Strategies of producing bioactive peptides from milk proteins to functionalize fermented milk products. *Food Research International* 63:71-80. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.06.002>
- Hauffman V, Lee C, Burns E. 1975. Selected functional properties of sunflowermeal (*Heliantus annhuus*). *Journal of Food Science* 40(1):70-74.
- Hayat I, Ahmad A, Masud T, Ahmed A, Bashir S. 2014. Nutritional and Health Perspectives of Beans (*Phaseolus vulgaris* L.): An Overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 54(5):580-592. <https://doi.org/10.1080/10408398.2011.596639>
- <https://www.textoscientificos.com/polimeros/moldeado>. 2005. Moldeado, inyección, extrusión. Disponible en <https://www.textoscientificos.com/polimeros/moldeado>. Consultado el 10/11/2023.
- Hu K, Huang H, Li H, Wei Y, Yao C. 2023. Legume-derived bioactive peptides in type 2 diabetes: Opportunities and Challenges. *Nutrients* 15(5):1096. <https://doi.org/doi:10.3390/nu15051096>
- Indrati R. 2021. Bioactive Peptides from Legumes and Their Bioavailability. En: Jose CJ-L, Alfonso C, editores. *Legumes Research*. Rijeka: IntechOpen. p. Ch. 3.

- Irshad I, Kanekanian A, Peters A, Masud T. 2015. Antioxidant activity of bioactive peptides derived from bovine casein hydrolysate fractions. *Journal of Food Science and Technology* 52(1):231-239. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0920-8>
- Juárez-Chairez MF, Meza-Márquez OG, Márquez-Flores YK, Jiménez-Martínez C, Osorio-Revilla G. 2022. *In vitro* anti-inflammatory and antioxidant activity of chickpea (*Cicer arietinum* L.) proteins hydrolysate fractions. *Biotecnia* 24(2):59-68. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v24i2.1594>
- Kaur M, Singh N. 2005. Studies on functional, thermal and pasting properties of flours from different chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. *Food Chemistry* 91(3):403-411. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.06.015>
- Kaur M, Singh N. 2007. Characterization of protein isolates from different Indian chickpea (*Cicer arietinum* L.) cultivars. *Food Chemistry* 102(1):366-374. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.05.029>
- Kaur R, Prasad K. 2021. Technological, processing and nutritional aspects of chickpea (*Cicer arietinum*)-A review. *Trends in Food Science & Technology* 109:448-463. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.044>
- Kehinde BA, Sharma P. 2020. Recently isolated antidiabetic hydrolysates and peptides from multiple food sources: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 60(2):322-340. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1528206>
- Kou X, Gao J, Xue Z, Zhang Z, Wang H, Wang X. 2013. Purification and identification of antioxidant peptides from chickpea (*Cicer arietinum* L.) albumin hydrolysates. *LWT - Food Science and Technology* 50(2):591-598. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.08.002>
- Laemmli UK. 1970. Cleavage of Structural Proteins during the Assembly of the Head of Bacteriophage T4. *Nature* 227(5259):680-685. <https://doi.org/10.1038/227680a0>
- Landskron G, De la Fuente M, Thuwajit P, Thuwajit C, Hermoso MA. 2014. Chronic inflammation and cytokines in the tumor microenvironment. *Journal of Immunology Research* 2014:149185. <https://doi.org/10.1155/2014/149185>

- Lin MJY, Humbert ES, Sosulski FW. 1974. Certain functional properties of sunflower meal products. *Journal of Food Science* 39(2):368-370. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1974.tb02896.x>
- López-Angulo G, Montes-Avila J, Díaz-Camacho SP, Vega-Aviña R, Ahumada-Santos YP, Delgado-Vargas F. 2019. Chemical composition and antioxidant,  $\alpha$ -glucosidase inhibitory and antibacterial activities of three *Echeveria* DC. species from Mexico. *Arabian Journal of Chemistry* 12(8):1964-1973. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2014.11.050>
- Malik AH, Holm L, Johansson E. 2012. Soil and starter fertilizer and its effect on yield and protein composition of malting barley. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 12:835-849. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162012005000036>
- Marzo F, Alonso R, Urdaneta E, Arricibita FJ, Ibáñez F. 2002. Nutritional quality of extruded kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L. var. Pinto) and its effects on growth and skeletal muscle nitrogen fractions in rats. *Journal of Animal Science* 80(4):875-879. <https://doi.org/10.1006/10.2527/2002.804875x>
- Matemu A, Nakamura S, Katayama S. 2021. Health benefits of antioxidative peptides derived from legume proteins with a high amino acid score. *Antioxidants* 10(2):316. <https://doi.org/10.3390/antiox10020316>
- Mazorra-Carrillo J, V. B-B, H. E-S. 2021. La hipoxia y la inflamación en el desarrollo de las enfermedades crónico-degenerativas. *Salud Jalisco* 8(2):104-112.
- 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. <https://doi.org/10.1006/fstl.1999.0620>
- Milán-Carrillo J, Reyes-Moreno C, Camacho-Hernández IL, Rouzaud-Sandez O. 2002. Optimisation of extrusion process to transform hardened chickpeas (*Cicer arietinum* L.) into a useful product. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 82(14):1718-1728. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1242>
- Milán-Carrillo J, Valdez-Alarcón C, Gutiérrez-Dorado R, Cárdenas-Valenzuela OG, Mora-Escobedo R, Garzón-Tiznado JA, Reyes-Moreno C. 2007. Nutritional properties of quality protein maize and chickpea extruded based weaning food.

<https://doi.org/10.1016/10.1007/s11130-006-0039-z>

- Milán-Noris AK, De la Rosa-Millan J, Serna-Saldivar SO. 2019. Comparative analysis of techno-functional properties, starch digestion and protein quality of pigmented chickpea flours. *International Journal of Food Science & Technology* 54(6):2288-2299. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14144>
- Milán-Noris AK, Gutierrez-Urbe JA, Santacruz A, Serna-Saldivar SO, Martinez-Villaluenga C. 2018. Peptides and isoflavones in gastrointestinal digests contribute to the anti-inflammatory potential of cooked or germinated desi and kabuli chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Food Chemistry* 268:66-76. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.068>
- Montoya-Rodríguez A, de Mejía EG, Dia VP, Reyes-Moreno C, Milán-Carrillo J. 2014. Extrusion improved the anti-inflammatory effect of amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) hydrolysates in LPS-induced human THP-1 macrophage-like and mouse RAW 264.7 macrophages by preventing activation of NF-κB signaling. *Molecular Nutrition & Food Research* 58(5):1028-1041. <https://doi.org/10.1002/mnfr.201300764>
- Montoya-Rodríguez A, Milán-Carrillo J, Reyes-Moreno C, González de Mejía E. 2015. Characterization of peptides found in unprocessed and extruded amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) pepsin/pancreatin hydrolysates. *International journal of molecular sciences* 16(4):8536-8554. <https://doi.org/10.3390/ijms16048536>
- Mora-Escobedo R, Paredes-López O, Dominguez J. 1991. Optimization of germination procedure by response surface methodology of common beans (*Phaseolus vulgaris* L). *Food Microstructure* 4:183.
- Morales P, Cebadera-Miranda L, Cámara RM, Reis FS, Barros L, Berrios JDJ, Ferreira ICFR, Cámara M. 2015. Lentil flour formulations to develop new snack-type products by extrusion processing: Phytochemicals and antioxidant capacity. *Journal of Functional Foods* 19:537-544. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.09.044>

- Moreno C, Mojica L, González de Mejía E, Camacho Ruiz RM, Luna-Vital DA. 2020. Combinations of legume protein hydrolysates synergistically inhibit biological markers associated with adipogenesis. *Foods* 9(11):1678. <https://doi.org/10.3390/foods9111678>
- Nasrollahzadeh F, Roman L, Skov K, Jakobsen LMA, Trinh BM, Tsochatzis ED, Mekonnen T, Corredig M, Dutcher JR, Martinez MM. 2023. A comparative investigation of seed storage protein fractions: The synergistic impact of molecular properties and composition on anisotropic structuring. *Food Hydrocolloids* 137:108400. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.108400>
- Navarro-Leyva A, López-Angulo G, Delgado-Vargas F, López-Valenzuela JÁ. 2023. Antioxidant, anti-inflammatory, hypoglycemic, and anti-hyperglycemic activity of chickpea protein hydrolysates evaluated in BALB-c mice. *Journal of Food Science* 88(10):4262-4274. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16744>
- Ohanenye IC, Ekezie F-GC, Sarteshnizi RA, Boachie RT, Emenike CU, Sun X, Nwachukwu ID, Udenigwe CC. 2022. Legume Seed Protein Digestibility as Influenced by Traditional and Emerging Physical Processing Technologies. *11(15):2299*. <https://doi.org/doi:10.3390/foods11152299>
- OMS. 2023. Enfermedades no transmisibles. Organización Mundial de la Salud. Disponible en <https://www.who.int/es/news-room/factsheets/detail/noncommunicable-diseases>. Consultado el 06 de octubre de 2023.
- Ordorica-Falomir C. 1988. Obtención de aislados proteicos por micelización y precipitación isoeléctrica a partir de pasta de cártamo. Guanajuato, México: CINVESTAV-IPN Unidad Irapuato.
- Oseguera-Toledo ME, Gonzalez de Mejia E, Amaya-Llano SL. 2015. Hard-to-cook bean (*Phaseolus vulgaris* L.) proteins hydrolyzed by alcalase and bromelain produced bioactive peptide fractions that inhibit targets of type-2 diabetes and oxidative stress. *Food Research International* 76:839-851. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.07.046>
- Pasqualone A, Costantini M, Coldea TE, Summo C. 2020. Use of legumes in extrusion cooking: A Review. *Foods* 9(7):958. <https://doi.org/10.3390/foods9070958>

- Pedrosa MM, Guillamón E, Arribas C. 2021. Autoclaved and extruded legumes as a source of bioactive phytochemicals: A Review. *Foods* 10(2):379. <https://doi.org/10.3390/foods10020379>
- Peña-Ramos EA, Xiong YL. 2002. Antioxidant activity of soy protein hydrolysates in a liposomal system. *Journal of Food Science and Technology* 67(8):2952-2956. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb08844.x>
- Pietta P-G. 2000. Flavonoids as Antioxidants. *Journal of Natural Products* 63(7):1035-1042. <https://doi.org/10.1016/10.1021/np9904509>
- Quintero-Soto MF, Chavez-Ontiveros J, Garzon-Tiznado JA, Salazar-Salas NY, Pineda-Hidalgo KV, Delgado-Vargas F, Lopez-Valenzuela JA. 2021. Characterization of peptides with antioxidant activity and antidiabetic potential obtained from chickpea (*Cicer arietinum* L.) protein hydrolyzates. *Journal of Food Science* 86(7):2962-2977. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15778>
- Raya-Pérez JC, Gutiérrez-Benicio GM, Ramírez Pimentel JG, Covarrubias-Prieto J, Aguirre-Mancilla CL. 2014. Caracterización de proteínas y contenido mineral de dos variedades nativas de frijol de México. *Agronomía Mesoamericana* 25(1):1-11.
- Re R, Pellegrini N, Proteggente A, Pannala A, Yang M, Rice-Evans C. 1999. Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medicine* 26(9-10):1231-1237. [https://doi.org/10.1016/s0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/s0891-5849(98)00315-3)
- Real Hernandez LM, Gonzalez de Mejia E. 2019. Enzymatic Production, Bioactivity, and Bitterness of Chickpea (*Cicer arietinum*) Peptides. *Comprehensive Reviews Food Science and Food Safety* 18(6):1913-1946. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12504>
- Sajja SB, Srinivasan S, Gaur PM. 2017. Botany of Chickpea. En: R. K. Varshney MT, & F. Muehlbauer, editor. *The Chickpea Genome*. Springer International Publishing. p. 13-24.
- Sánchez-Chino XM, Jiménez Martínez C, León-Espinosa EB, Garduño-Siciliano L, Álvarez-González I, Madrigal-Bujaidar E, Vásquez-Garzón VR, Baltiérrez-Hoyos R, Dávila-Ortiz G. 2019. Protective effect of chickpea protein



- hydrolysates on colon carcinogenesis associated with a hypercaloric diet. *Journal of the American College of Nutrition* 38(2):162-170. <https://doi.org/10.1080/07315724.2018.1487809>
- Sánchez A, Vázquez A. 2017. Bioactive peptides: A review. *Food Quality and Safety* 1(1):29-46. <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyx006>
- Sánchez N. C. 2013. Conociendo y comprendiendo la célula cancerosa: Fisiopatología del cáncer. *Revista Médica Clínica Las Condes* 24(4):553-562. [https://doi.org/10.1016/S0716-8640\(13\)70659-X](https://doi.org/10.1016/S0716-8640(13)70659-X)
- Sarmadi BH, Ismail A. 2010. Antioxidative peptides from food proteins: A review. *Peptides* 31(10):1949-1956. <https://doi.org/10.1016/j.peptides.2010.06.020>
- Serrano-Sandoval SN, Guardado-Félix D, Gutiérrez-Urbe JA. 2019. Changes in digestibility of proteins from chickpeas (*Cicer arietinum* L.) germinated in presence of selenium and antioxidant capacity of hydrolysates. *Food Chemistry* 285:290-295. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.137>
- SIAP-SADER. 2023. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Disponible en [https://nube.siap.gob.mx/avance\\_agricola/](https://nube.siap.gob.mx/avance_agricola/) Consultado el 12 de octubre de 2023.
- Silvestre-De-León R, Espinosa-Ramírez J, Heredia-Olea E, Pérez-Carrillo E, Serna-Saldívar SO. 2020. Biocatalytic degradation of proteins and starch of extruded whole chickpea flours. *Food and Bioprocess Technology* 13(10):1703-1716. <https://doi.org/10.1007/s11947-020-02511-z>
- Singh B, Sekhon KS, Singh N. 2007a. Effects of moisture, temperature and level of pea grits on extrusion behaviour and product characteristics of rice. *Food Chemistry* 100(1):198-202. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.09.042>
- Singh S, Gamlath S, Wakeling L. 2007b. Nutritional aspects of food extrusion: a review. *Journal of Food Science & Technology* 42(8):916-929. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01309.x>
- Singleton VL, Orthofer R, Lamuela-Raventós RM. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*. Academic Press. p. 152-178.



- Spellman D, McEvoy E, O’Cuinn G, FitzGerald RJ. 2003. Proteinase and exopeptidase hydrolysis of whey protein: Comparison of the TNBS, OPA and pH stat methods for quantification of degree of hydrolysis. *International Dairy Journal* 13(6):447-453. [https://doi.org/10.1016/S0958-6946\(03\)00053-0](https://doi.org/10.1016/S0958-6946(03)00053-0)
- Tavano OL. 2013. Protein hydrolysis using proteases: An important tool for food biotechnology. *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic* 90:1-11. <https://doi.org/10.1016/j.molcatb.2013.01.011>
- Tawalbeh D, Al-U’datt MH, Wan Ahmad WAN, Ahmad F, Sarbon NM. 2023. Recent advances in in vitro and in vivo studies of antioxidant, ace-inhibitory and anti-inflammatory peptides from legume protein hydrolysates. *Molecules* 28(6):2423. <https://doi.org/10.3390/molecules28062423>
- Torres-Fuentes C, Alaiz M, Vioque J. 2011. Affinity purification and characterisation of chelating peptides from chickpea protein hydrolysates. *Food Chemistry* 129(2):485-490. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.04.103>
- Torres-Fuentes C, Contreras MDM, Recio I, Alaiz M, Vioque J. 2015. Identification and characterization of antioxidant peptides from chickpea protein hydrolysates. *Food Chemistry* 180:194-202. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.02.046>
- Wali A, Mijiti Y, Yanhua G, Yili A, Aisa HA, Kawuli A. 2021. Isolation and identification of a novel antioxidant peptide from chickpea (*Cicer arietinum* L.) sprout protein hydrolysates. *International Journal of Peptide Research and Therapeutics* 27(1):219-227. <https://doi.org/10.1007/s10989-020-10070-2>
- Wang N, Hatcher DW, Tyler RT, Toews R, Gawalko EJ. 2010. Effect of cooking on the composition of beans (*Phaseolus vulgaris* L.) and chickpeas (*Cicer arietinum* L.). *Food Research International* 43(2):589-594. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.07.012>
- Wang S, Ai Y, Hood-Niefer S, Nickerson MT. 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. <https://doi.org/10.1002/cche.10149>

- Wood J, Grusak M. 2007. Nutritional Value of Chickpea. En: Yadav S, Redden R, Chen W, Sharma B, editores. Chickpea Breeding and Management. Wallingford, Oxon, UK: CAB International. p. 101-142.
- Yegrem L. 2021. Nutritional composition, antinutritional factors, and utilization trends of ethiopian chickpea (*Cicer arietinum* L.). International Journal of Food Science 2021:5570753. <https://doi.org/10.1155/2021/5570753>
- Zhang T, Li Y, Miao M, Jiang B. 2011. Purification and characterisation of a new antioxidant peptide from chickpea (*Cicer arietinum* L.) protein hydrolysates. Food Chemistry 128(1):28-33. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.02.072>
- Zhao Y, Du S-k, Wang H, Cai M. 2014. In vitro antioxidant activity of extracts from common legumes. Food Chemistry 152:462-466. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.12.006>

## ABREVIATURAS

µg	Microgramo
µL	Microlitro
µM	Micromolar
µmol	Micromol
AAPH	2,2'-Azobis(2-metilpropionamida) dihidrocloruro
ABTS	(2,2'-azinobis [3-etilbenzotiazolina-6-ácido sulfónico]-sal de diamonio)
ADN	Ácido desoxirribonucleico
BCA	Ácido bicinónico
bs	Base seca
CO <sub>2</sub>	Dióxido de carbono
DH	Grado de hidrólisis
DNS	Ácido dinitrosalicílico
DPPH	2,2-difenil-1-picrilhidracilo
EAG	Equivalentes de ácido gálico
ET	Equivalentes de trolox
g	Gramos
GH	Grado de hidrólisis
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	Ácido fosfórico
HCl	Ácido clorhídrico
IAA	Índice de absorción de agua
IAAC	Índice de absorción de aceite
INIFAP	Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias
ISA	Índice de solubilidad en agua

IV-PDCAAS	Puntaje de aminoácidos corregido por digestibilidad proteica (Protein digestibility-corrected amino acid score)
kDa	Kilo Dáltones
kV	Kilo Voltios
M	Molar
mg	Miligramos
mm	Milímetro
mM	Milimolar
NaCO <sub>3</sub>	Carbonato de sodio
NaOH	Hidróxido de sodio
nm	Nanómetro
ORAC	Capacidad de Absorbancia de Radicales Oxígeno
p/v	Peso/Volumen
rpm	Revoluciones por minuto
RSM	Metodología de superficie de respuesta
SDS-PAGE	Electroforesis de proteínas en geles de poliacrilamida en presencia del detergente aniónico dodecilsulfato de sodio
SIAP	Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera
TE	Temperatura de extrusión
v/v	Volumen/volumen
Vol	Volumen
VT	Velocidad de tornillo