



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

FACULTAD DE QUÍMICA

Evaluación tecno funcional y aplicación de hidrolizados de frijol, garbanzo,  
haba y lenteja

**T E S I S**

Para obtener el grado de Licenciatura en:

QUÍMICA DE ALIMENTOS

PRESENTA:

Ana Lucía Ramírez Funes

TUTORA:

Isadora Martínez Arellano

SUPERVISORA TÉCNICA:

María Soledad Córdova Aguilar



Ciudad Universitaria, CD. MX.

2023



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

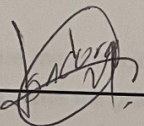
**JURADO ASIGNADO:**

**PRESIDENTE:** Velazquez Madrazo Olga del Carmen  
**VOCAL:** Conca Torres Armando  
**SECRETARIO:** Martínez Arellano Isadora  
**1er. SUPLENTE:** Ramirez Gilly Mariana  
**2° SUPLENTE:** Garcia Arrazola Roeb

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:**

Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología (ICAT)

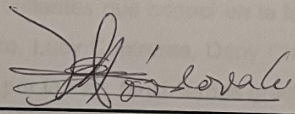
**Asesor del tema:**



---

**Martínez Arellano Isadora**

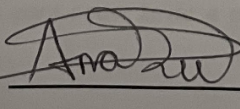
**Supervisor técnico:**



---

**Córdoba Aguilar María Soledad**

**SUSTENTANTE:**



---

**Ramírez Funes Ana Lucía**

## **ÍNDICE**

<b>RESUMEN</b>	<b>4</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>5</b>
<b>HIPÓTESIS</b>	<b>6</b>
<b>OBJETIVOS</b>	<b>6</b>
Objetivo general	6
Objetivos específicos	6
<b>MARCO TEÓRICO</b>	<b>7</b>
Papel de legumbres en el mundo	7
Legumbres en México	7
Beneficios del consumo de legumbres	8
Usos de legumbres	8
Estructuras de las proteínas	9
Características de las proteínas de las legumbres	10
Hidrolizados de las proteínas de legumbres	11
Métodos de obtención de los hidrolizados:	11
Características y propiedades funcionales de los hidrolizados:	11
Usos de los hidrolizados:	12
Ultrasonido	12
Usos del ultrasonido	12
Fenómeno de cavitación	13
Pruebas Físicoquímicas	13
pH:	13
Humedad y actividad de agua:	14
Colorimetría:	14
Capacidad de retención de agua:	15
Capacidad de retención de aceite (CRE):	15
Capacidad de espumado:	15
Capacidad de emulsificación:	15
Electroforesis:	16
Cuantificación de proteína soluble por el método de Bradford	16
Secado por Aspersión	16
Pruebas del Producto final	17
Análisis del perfil de Textura	17
Digestibilidad de Proteínas y PDCAAS	18
<b>ANTECEDENTES</b>	<b>18</b>
<b>METODOLOGÍA</b>	<b>19</b>
Estrategia	19
Obtención de la harina de legumbres	19
Obtención del pH de solubilidad óptima	19
Caracterización de las harinas e hidrolizados	20
Determinación de la humedad (% H):	20
Medición de la actividad de agua:	20
Medición del pH:	20



Obtención de la colorimetría:	20
Pruebas funcionales	21
Determinación de la capacidad de retención de agua:	21
Determinación de la capacidad de retención de aceite:	21
Determinación del índice de actividad emulsionante (IAE):	21
Determinación de la capacidad espumante:	22
Hidrólisis con la punta sónica:	22
Hidrólisis con el baño sónico:	22
Secado por Aspersión:	23
Electroforesis	23
Evaluación tecnofuncional de los hidrolizados en hotcakes	23
Análisis del Perfil de Textura de los hotcakes	23
Tratamiento de Datos	24
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>24</b>
Obtención de harinas de legumbres	24
Determinación del pH óptimo de solubilidad	24
Sonicación por punta sónica y baño	25
Secado por aspersion	27
Propiedades fisicoquímicas de las harinas e hidrolizados	28
Electroforesis	35
Propiedades de los Hotcakes	36
TPA de los hotcakes	38
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>41</b>
<b>PERSPECTIVAS</b>	<b>41</b>
<b>Bibliografía:</b>	<b>42</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>48</b>

## RESUMEN

Existen dos áreas dentro de la ciencia de los alimentos, una se relaciona con el desarrollo de productos y, la otra con el desarrollo de procesos. Este trabajo se enmarca dentro de la línea de procesos, donde se propone desarrollar un proceso de extracción de hidrolizados de proteína de varias legumbres (lenteja, frijol, garbanzo y haba) para mejorar las propiedades funcionales, tales como la capacidad espumante y emulsificante de las proteínas y poder utilizar los hidrolizados en el diseño de nuevos productos con alto valor biológico y proteína biodisponible.

El proceso de hidrólisis de las proteínas de legumbres se suscita a través del fenómeno de cavitación a altas velocidades, generado mediante una punta sónica o en un baño sónico. En este trabajo se obtuvieron las harinas de lenteja, frijol negro, garbanzo y haba siguiendo la metodología descrita por Velázquez, 2019 e implementada en el laboratorio de Ingeniería de proceso- ICAT, UNAM. Se hizo la caracterización fisicoquímica de las harinas y se determinó el pH óptimo de solubilidad de cada harina para obtener el mayor rendimiento durante la hidrólisis. La punta sónica, se operó a 22 kHz por 20 minutos mientras que el baño sónico se operó a una potencia de 40 kHz, también por 20 minutos. Los hidrolizados se secaron por aspersion, se cuantificó la proteína soluble y se hizo una caracterización por electroforesis y funcionalidad de cada hidrolizado.

La actividad emulsionante, la capacidad de espumado, la capacidad de retención de agua y la solubilidad de los hidrolizados obtenidos por la punta sónica, presentaron un aumento significativo no obstante que el perfil electroforético no estuvo bien definido para ninguno de ellos. En el caso del baño sónico, sólo se logró hidrolizar las proteínas de haba. En el caso de lenteja, frijol y garbanzo, debido a no estar en contacto directo se requiere de mayor tiempo o potencia. Cabe señalar que las propiedades funcionales de los hidrolizados de haba con el baño y la punta no presentaron diferencias significativas.

Finalmente, se utilizaron los hidrolizados obtenidos por punta sónica para sustituir las harinas de leguminosas en una harina formulada para elaborar un producto funcional tipo *hot cake* con la finalidad de mejorar los atributos sensoriales de esponjosidad, suavidad y aumentar la biodisponibilidad de proteína. Se comprobó que los atributos sensoriales cambiaron significativamente por lo que se demostraron los cambios tecno funcionales de los hidrolizados comparados con las harinas de legumbres.

## INTRODUCCIÓN

En la actualidad los problemas de malnutrición, están causando severos problemas a la salud pública, no sólo en México sino a nivel mundial. Por lo que la tendencia de la ciencia de los alimentos está alineada al desarrollo de nuevos productos que sean más saludables, que tengan alto valor biológico y que tengan un efecto nutracéutico. Sin embargo, la directriz de la industria de alimentos actual es la utilización de mayor cantidad de proteína de origen vegetal, por tener menor costo, menor impacto ambiental y por las nuevas tendencias de vegetarianismo y veganismo.

Por lo anterior, se propone un proceso de obtención de proteína más disponible a partir de la hidrólisis de harinas de legumbres, en este caso utilizando frijol, lenteja, garbanzo y haba. Ya que el contenido de proteína en legumbres se encuentra alrededor del 20-40 % en masa seca, lo cual es mayor al contenido de proteínas presentes en cereales de un 10-15 % en masa seca (Erbersdobler *et al.*, 2017).

El proceso desarrollado en este trabajo se basa en el uso de ultrasonido para la hidrólisis de las proteínas de las harinas de legumbres y de esta manera obtener una mayor cantidad de proteína soluble y biodisponible. Para aplicar el ultrasonido a las harinas se utiliza una punta sónica y un baño sónico.

El proceso está basado en el fenómeno de la cavitación provocado por el ultrasonido, generando pequeñas vacuolas de gas dentro de una solución que después sufren una implosión. Las implosiones ocurren a altas velocidades, lo que genera una gran cantidad de energía, que funciona como catalizadora de reacciones químicas, como en este caso la hidrólisis de las proteínas.

Con la hidrólisis de las proteínas, se obtiene una mayor cantidad de proteínas solubles. Lo que resulta en una mejora de las propiedades tecnofuncionales de los hidrolizados en comparación con las harinas. Por lo que el producto obtenido de este proceso puede ser utilizado como un ingrediente con proteína biodisponible de origen vegetal para su adición a productos nuevos o ya existentes, aumentando su valor biológico y mejorando sus propiedades funcionales y las características de textura. Se utilizó una formulación de harina de *hotcake* a base de harinas de avena, amaranto, frijol y lenteja, sustituyendo las harinas de frijol y lenteja, por los hidrolizados, desarrollada en el laboratorio de Ingeniería de Procesos del Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología. Para comprobar los cambios en las características sensoriales, principalmente la textura. Los *hotcakes* tuvieron cambios significativos en su textura y apariencia, lo que comprobó la hipótesis de este trabajo.

## **HIPÓTESIS**

Si este fenómeno de cavitación es capaz de producir la energía suficiente con la frecuencia y tiempo indicados, entonces se obtendrán hidrolizados de proteínas de legumbres con mejores propiedades tecno-funcionales.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Obtener hidrolizados proteicos de harinas de legumbres utilizando ultrasonido con la punta sónica y el baño sónico para mejorar las propiedades de las harinas de legumbres.

### **Objetivos específicos**

1. Obtener las harinas de legumbres a partir de las semillas.
2. Obtener los hidrolizados con punta y baño sónico
3. Evaluar las características fisicoquímicas y tecno-funcionales, como esponjosidad, capacidad de emulsificación y espumado de harinas e hidrolizados de legumbres.
4. Comprobar las propiedades funcionales de los hidrolizados en una formulación de *hotcake* hecha con harinas de legumbres y sustituirlas por los hidrolizados.

## MARCO TEÓRICO

### Papel de legumbres en el mundo

Las legumbres son parte de la familia *Leguminosae*, la cual cuenta con más de 20 000 especies, de éstas las principales que forman parte de la dieta son: frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), lenteja (*Lens culinaris*), garbanzo (*Cicer arietinum* L.) y haba (*Vicia faba* L.). Estas son las leguminosas que son comúnmente consumidas, sin tomar en cuenta a las que se utilizan para obtención de aceites. Las legumbres son ampliamente utilizadas a nivel mundial ya que su cultivo es fácil, en comparación con algunos cereales, porque se pueden adaptar a variadas condiciones del suelo y además en la recolección se obtienen buenos rendimientos, esto las hace menos costosas (Flores *et al.*, 2016).

En la actualidad la OMS recomienda un consumo de 100 a 210 g de legumbres por semana, por ser fuente de proteína y fibra. Aunque la población aún no alcance ese consumo recomendado, la cantidad ha aumentado recientemente, en especial el consumo del frijol. De acuerdo con datos reportados por FAOSTAT, en el año 2020 el consumo de frijol a nivel mundial alcanzó un máximo histórico de 19 658 000 t, que fue estimada en un 13.8 % mayor al consumo de frijol 10 años antes. Se realizó una estimación y los 5 países que presentaron un mayor consumo de esta legumbre, durante 2020 fueron India, Brasil, Estados Unidos, México y Tanzania.

### Legumbres en México

En México, la legumbre de mayor importancia social y económica es el frijol, aunque se consumen también la lenteja, garbanzo y haba. En las zonas rurales del país, las legumbres son parte del conjunto de semillas que más se consumen, en especial el frijol que en conjunto con el maíz representan la base de la dieta (Flores *et al.*, 2016). Para estas últimas, el consumo *per cápita* anual es menor a un Kg. Mientras se estima que el consumo *per cápita* anual del frijol en México es de 9 Kg en el 2022 (Statista, 2022). El consumo del frijol representa el 36 % de la ingesta diaria de proteína de los mexicanos. Los estados principales de la República productores de esta leguminosa son: Zacatecas (33%), Sinaloa (12%), Durango (10%) y Chihuahua (8%). En cuanto al garbanzo los estados que son los productores principales son: Michoacán (9%), Jalisco (13%), Sonora (23%) y Sinaloa (42%). Los estados que producen haba para grano son: Puebla (49%), Veracruz (36%) y Tlaxcala (9%). Mientras que para la producción de lenteja los estados más importantes son: Michoacán (90%) y Guanajuato (10%) (Anaya-López *et al.*, 2021).



Durante el período de 2015-2020 México fue autosuficiente en la producción de garbanzo para satisfacer el consumo nacional, solamente en el año 2020 exportó 101 767 toneladas de garbanzos secos. Por otro lado, el país no produjo suficiente frijol, lenteja y haba para satisfacer el consumo nacional. Durante el año 2020 importó de frijol 143 529 toneladas, de lenteja 27 719 toneladas y de haba 136 toneladas (FAOSTAT, 2022)

## **Beneficios del consumo de legumbres**

Recientemente se ha estado proponiendo a la dieta mediterránea, como una opción para la disminución del riesgo de contraer enfermedades cardiovasculares, así como de algunos tipos de cáncer. Esta dieta tiene un factor fundamental que son las legumbres. Las legumbres presentan efectos preventivos en contra de las enfermedades cardiovasculares y algunos tipos de cáncer, principalmente en el tracto digestivo superior y riñones, debido a que tienen flavonoides y lignanos que aportan estos beneficios. Además aportan ácidos grasos poliinsaturados, fibra y vitamina E que también tienen beneficios (Papandreou *et al.*, 2019). Las legumbres tienen una mayor cantidad de proteína, que los cereales lo que las hace un alimento de mayor valor biológico. Por lo que son una buena fuente de proteína de origen vegetal que tiene menor costo que la de los productos cárnicos o lácteos.

Las legumbres también son fuente de vitaminas del complejo B, fibra, carbohidratos, proteínas, hierro, magnesio, manganeso, fósforo y zinc. Son consideradas alimentos de bajo aporte de grasa y se ha demostrado que pueden llegar a bajar los niveles de colesterol en sangre (Polak *et al.*, 2015) y también se ha reportado que las legumbres tienen un índice glicémico bajo por lo que son recomendadas para las personas que tienen diabetes (Polak *et al.*, 2015).

## **Usos de legumbres**

Dentro de los usos principales de las legumbres, el más importante es el consumo en la dieta diaria humana y para alimentación de animales en la ganadería. Las legumbres forman parte de la dieta histórica humana, por ejemplo, los frijoles en México o porque forman parte de la dieta mediterránea. Últimamente se ha buscado elaborar alimentos tipo botanas con un porcentaje elevado (hasta el 50 %) de legumbres en su formulación, con el objetivo de disminuir la cantidad de grasas en las botanas y aumentar el contenido de proteína y fibra (Vergara, 2016).

El cultivo de leguminosas es benéfico, debido a que tienen la capacidad de fijar el nitrógeno en el suelo, por lo que su cultivo aumenta la fertilidad del suelo y además su planta nutre a cultivos cercanos (Vergara, 2016).

En Canadá se realizó un estudio en el cual se buscó reemplazar parcialmente la clara de huevo en un “muffin” y un “queque ángel” (producto repostero canadiense), con proteína de legumbres. En este estudio se logró, después del horneado, conservar estabilidad de miga y mantener la humedad. Este reemplazo ayudaría a reducir el costo de la producción (Tobar, 2018).

Todos estos avances de uso de proteína vegetal, tienen la finalidad de que en la dieta diaria aumente la cantidad de legumbres a cifras similares históricamente, como en la época prehispánica cuando el frijol era una de las bases de su alimentación. Esto es debido a que las legumbres son consideradas uno de los grupos de alimentos más saludables por su contenido nutrimental, principalmente son fuente de proteína de origen vegetal y de fibra. Como se demuestra en la tabla 1 donde se detalla el contenido de macronutrientes, reportada por Onyango en 2022, en algunas legumbres.

**Tabla 1. Composición de macronutrientes en algunas legumbres (Onyango, 2022)**

Legumbre	Composición (g/100 g)				
	Proteína	Carbohidrato	Fibra Cruda	Grasa	Cenizas
Frijol Seco ( <i>Phaseolus spp</i> )	16-25	39-56	6.3-18.9	1.5	2.9-4.3
Frijol negro ( <i>Vigna mungo</i> )	24	51-59	5.5	1.44	1.4
Frijol mungo ( <i>Vigna radiata</i> )	26-27	62-70	4.6	1.6-1.8	1-3.7
Guisante seco ( <i>Pisum sativum</i> )	20-30	41-46	3.3-6.5	1-4	2-3
Haba seca ( <i>Vicia faba</i> )	26-38	55-60	6.4-8.4	0.7-1.1	2.7-3.5
Lenteja ( <i>Lens culinaris</i> )	23-29	60	13-14	0.8	2.4-2.8
Garbanzo ( <i>Cicer arietinum</i> )	17-22	56-63	4.8-8	4.5-5.7	1.9-3.2
Espelón ( <i>Vigna unguiculata</i> )	27	69.8-76	1.4-14	5	3.2-4.1
Guandú ( <i>Cajanus cajan</i> )	19-21.7	54	9.8-13	1.2-1.3	3.9-4.3
Lupino ( <i>Lupinus spp</i> )	40	47.7	10.8	8.9	3.15
Soya ( <i>Glycine max</i> )	40-44	30-34	4.5	18-19	3-4.8
Cacahuete ( <i>Arachis hypogea</i> )	24-28	38	4.1-4.8	44-49.5	2.3-2.5

### Estructuras de las proteínas

Las proteínas son macromoléculas complejas, compuestas de unidades estructurales llamadas aminoácidos que se unen entre sí por enlaces de tipo covalente, llamados enlaces

peptídicos. Las proteínas están compuestas por una gran cantidad de aminoácidos que toman estructuras específicas en el espacio. Hay cuatro niveles de estructuras de las proteínas: primaria, secundaria, terciaria y cuaternaria. La primaria es la secuencia lineal de aminoácidos que conforman a la proteína. La secundaria es la manera en la que estos aminoácidos se acomodan entre sí, que puede ser de dos maneras en una lámina plegada o en  $\alpha$  –hélice. La terciaria es el acomodo en tercera dimensión de las láminas plegadas y las hélices, generando distintas figuras geométricas que se pueden clasificar como: láminas  $\beta$ ,  $\alpha$  –hélices, láminas  $\beta$  que se encuentran paralelas y rodeadas de las hélices, entre otras. Por último, se encuentra la estructura cuaternaria que es un arreglo de las cadenas polipeptídicas en el espacio, está conformada por protómeros que generan varias cadenas polipeptídicas. Esto hace que la estructura cuaternaria sea multimérica (Guerrero *et al*, 2003).

En este trabajo es importante entender la estructura de la proteínas, ya que con la hidrólisis ésta es modificada.

### **Características de las proteínas de las legumbres**

Existen tres categorías principales de proteínas en las legumbres y estas son: estructurales, de almacenamiento y bioactivas. Estas últimas son las responsables de los efectos nutraceuticos de las legumbres, tales como la disminución de los riesgos de diabetes y de cáncer. Las proteínas bioactivas de las legumbres son las lectinas, enzimas y los inhibidores de la actividad enzimática. Estas proteínas bioactivas forman parte de las albúminas de las legumbres, las cuáles son proteínas solubles en agua. (Keskin *et al.*, 2022).

Las proteínas más abundantes de las legumbres son las globulinas, que son solubles en soluciones salinas diluidas. Las globulinas representan alrededor del 35-80 % del total de proteínas de las legumbres, mientras que las albúminas representan 2-37 % del total de las proteínas de las legumbres. Se debe mencionar que los perfiles de aminoácidos que conforman a las globulinas y a las albúminas son diferentes. Las globulinas tienen un alto contenido de ácido glutámico y las albúminas contienen altas cantidades de lisina y aminoácidos azufrados (Keskin *et al.*, 2022).

En cuanto al perfil de aminoácidos que conforman las legumbres, la arginina, los ácidos aspártico y glutámico y la leucina, forman la mayoría de los aminoácidos que tienen las legumbres, mientras que tienen bajos contenidos de aminoácidos azufrados, como la metionina y cisteína (Khazaei *et al.*, 2019).

## **Hidrolizados de las proteínas de legumbres**

Actualmente, se han desarrollado procesos para obtener péptidos bioactivos, con la finalidad de adicionarlos a productos alimenticios para incrementar el valor biológico de los alimentos. Aunque la mayoría han utilizado proteína de origen animal como materia prima principal para conseguirlos, el interés por utilizar proteínas de origen vegetal ha estado aumentando por su menor costo económico, su sustentabilidad y por producir menor daño al ambiente. Dentro de estas proteínas de origen vegetal se ha observado que las legumbres son la mejor opción de materia prima para obtener péptidos bioactivos por medio de hidrólisis, en virtud de su calidad de proteína y contenido elevado (Fadimu *et al.*, 2022).

### **Métodos de obtención de los hidrolizados:**

Para la obtención de estos hidrolizados previamente mencionados, se han desarrollado varios métodos. Uno de los métodos para la obtención de hidrolizados proteicos de legumbres es mediante enzimas proteolíticas, que se realiza habitualmente en un reactor con agitación continua, con calor y pH controlados; se añaden las proteasas y al llegar al grado de hidrólisis deseado se desactivan las enzimas con temperatura o pH, también se pueden retirar por filtración (Benítez *et al.*, 2008). Dentro de las proteasas más utilizadas están alcalasa y flavourzyme® (la cuál es una mezcla de endopeptidasas y exopeptidasas que se utiliza para proteína de origen animal), ya que se ha demostrado la efectividad de estas enzimas para producir péptidos con varias funciones biológicas (Fadimu *et al.*, 2022).

Un segundo método es en condiciones alcalinas. Las harinas de legumbres se ajustan a un pH de 8-10 e inmediatamente se centrifugan. Enseguida, se acidifica el medio hasta el punto isoeléctrico, en el cual se precipitan las proteínas hidrolizadas (Khazaei *et al.*, 2019).

Un tercer método que ha estado demostrando varios beneficios, es el cocimiento por extrusión que no sólo puede hidrolizar las proteínas y el almidón, sino que además aumenta la digestibilidad de éstas y disminuye los inhibidores de tripsina presentes en legumbres. Por lo que este método ha demostrado que las legumbres son una gran opción para reemplazar a cereales en productos alimenticios extruidos (Pasqualone *et al.*, 2020).

### **Características y propiedades funcionales de los hidrolizados:**

Una propiedad funcional de las proteínas es definida como una característica fisicoquímica con la capacidad de influenciar el comportamiento y las características de un alimento completo del cual forman parte o al que fueron agregadas como un ingrediente, y además influyen en la calidad final del producto o alimento (Guerrero *et al.*, 2003).

En los hidrolizados de proteínas de legumbres, se potencian propiedades funcionales que son útiles tecnológicamente para la industria de alimentos. Los hidrolizados mejoran al tener

una menor viscosidad, una mayor capacidad de solubilización, son más solubles y tienen mayor capacidad de dispersión. Además, que mejoran varias propiedades funcionales como la capacidad espumante y emulsificante (Benítez *et al.*, 2008).

Además de que las proteínas hidrolizadas tienen mayor solubilidad, capacidad emulsificante y espumante, mantienen estas propiedades en un amplio intervalo de pH de 2.0 a 10.0. Por otro lado, las proteínas hidrolizadas llegan a tener una mayor capacidad de retención de aceite respecto a la capacidad de retención de agua. Por último, estas proteínas son más termoestables, se ha demostrado que las proteínas de las legumbres aisladas dentro de un intervalo de 45-80 % de pureza demuestran estabilidad a temperaturas por arriba de los 180 °C (Keskin *et al.*, 2022).

### **Usos de los hidrolizados:**

Los hidrolizados tienen un alto valor biológico, por lo que se pueden utilizar como ingredientes en la industria alimentaria que pueden reemplazar a cereales para producir alimentos con mayor valor nutricional (Pasqualone *et al.*, 2020), otro de los usos es como fuente de nitrógeno en formulaciones de dietas enterales para alimentación infantil o para adultos enfermos. Estas dietas son diseñadas para que sean absorbidas en el intestino, sin necesidad de una digestión previa en el estómago. Son útiles como tratamiento para personas con problemas de malabsorción (Benítez *et al.*, 2008).

Además, el valor tecno-funcional que tienen, por su solubilidad, capacidad espumante y emulsionante (Benítez *et al.*, 2008) los hace ingredientes que influyen en la calidad final del producto.

Otro uso que se le ha dado a estas proteínas es la encapsulación, sobre todo la encapsulación de vitamina B, de aceites vegetales y de bacterias probióticas. Además, se han desarrollado películas comestibles con estas proteínas hidrolizadas, para empaquetar alimentos y más (Keskin *et al.*, 2022).

### **Ultrasonido**

En este trabajo se utilizó el ultrasonido de dos maneras distintas, con una punta sónica y con un baño sónico, por lo que es importante entender los distintos usos que se le ha dado a éste y el fenómeno por el cuál hidroliza.

### **Usos del ultrasonido**

En un estudio realizado en 2022 se aplicó ultrasonificación a lupinos que son de origen vegetal, llegando a la conclusión que la ultrasonificación afecta a la estructura de las proteínas y aumenta la actividad biológica de éstas. (Fadimu *et al.*, 2022).



Por otro lado, para la química analítica el uso de ultrasonido ha demostrado tener una variedad de aplicaciones, como la extracción de compuestos orgánicos e inorgánicos, realizar dispersiones, homogeneizar emulsiones y soluciones, y más aplicaciones (Nascentes *et al.*, 2001). Además de estas aplicaciones, la industria se ha interesado por el uso del ultrasonido por la eficiencia energética que suele presentar (Vijigiri *et al.*, 2014). El ultrasonido tiene un uso en la odontología, con la punta sónica se han desarrollado tratamientos de limpieza. Y por último el baño ultrasónico, ha tenido una aplicación de limpieza y desinfección de materiales del laboratorio.

### **Fenómeno de cavitación**

La cavitación ha sido definida como el desarrollo e implosión o colapso, a una alta velocidad, de pequeñas vacuolas de aire dentro de un medio líquido. Este fenómeno ocurre en el proceso de sonicación, donde se aplican ondas de ultrasonido, dentro de un intervalo de 20 kHz a 1 MHz (Vijigiri *et al.*, 2014). El colapso de estas pequeñas vacuolas puede ocasionar una compresión, lo que provoca un incremento en la temperatura y presión del medio. Cuando la cavitación ocurre en un medio de agua, se pueden producir radicales que provocan reacciones (Nascentes *et al.*, 2001).

La cavitación es un fenómeno acústico que ocurre en un medio líquido, y la fuerza de ésta depende de la frecuencia del ultrasonido aplicado. Existen dos tipos de cavitación: cavitación transitoria y cavitación estable. La primera ocurre dentro de un intervalo de frecuencia de ultrasonido de 20 a 350 kHz, mientras la segunda ocurre hasta 1 MHz (Vijigiri *et al.*, 2014). En este caso se utilizó una frecuencia de aproximadamente 22 kHz, por lo que el tipo de cavitación acústica presente es cavitación transitoria.

### **Pruebas Fisicoquímicas**

A todas las muestras de harina y de hidrolizados obtenidos, se les realizó una serie de pruebas fisicoquímicas para su caracterización y después comparar las harinas con los hidrolizados. Las pruebas realizadas fueron las siguientes.

#### **pH:**

El pH es una escala química que mide qué tan ácida o alcalina es una sustancia cuando está disuelta en un medio acuoso. El pH es importante en los alimentos ya que puede afectar la vida útil de éstos, haciendo que los alimentos sean o no perecederos por el pH. Además, el pH afecta la calidad final de los alimentos por el sabor, aroma, color y, en algunos casos, textura, por las interacciones con las proteínas o los pigmentos. Por lo que el

monitoreo del pH en los alimentos es importante desde un punto de vista de inocuidad y de calidad (Vijayakumar *et al.*, 2017).

Las legumbres son alimentos que tienen un pH que varía entre 5.5 a 7.5. Las proteínas presentes en éstas son más solubles en pH alcalino y tienen un punto isoeléctrico en un nivel de pH ácido el cuál se encuentra entre 4 y 5, en el caso de la lenteja de 4.5 (Khazaei *et al.*, 2019).

### **Humedad y actividad de agua:**

La humedad de un alimento es el contenido total de agua que un producto alimenticio posee. Todo alimento contiene agua y este contenido es frecuentemente expresado en porcentaje de masa de agua en la masa total de un alimento. La humedad es un parámetro útil para conocer el tiempo por el cuál un alimento permanecerá comestible sin descomponerse. Los alimentos frescos usualmente tienen alrededor de un 90 % de humedad y tienden a tener una menor vida de anaquel. Otro parámetro relacionado con la vida de anaquel de los alimentos es la actividad de agua ( $a_w$ ), se encuentra relacionada con la inocuidad de un alimento. La actividad de agua está definida como la cantidad de agua disponible en un alimento para reacciones y crecimiento microbiológico. De estos dos parámetros, la actividad de agua es la principal en cuanto al crecimiento microbiológico dentro de un alimento (Zambrano *et al.*, 2019).

A los productos se les puede catalogar como no perecederos cuando tienen una actividad de agua menor a 0.65-0.6, gracias a que en ese  $a_w$  los microorganismos ya no son capaces de desarrollarse. La humedad es importante para la conservación de los alimentos, los alimentos no perecederos pueden tener hasta un 10-15 % de humedad (Chimborazo, 2015).

### **Colorimetría:**

Para la elección de alimentos, es común que el consumidor decida por la apariencia de éstos, por lo que el color debe ser considerado. La evaluación del color no es una herramienta nueva en el área del control de calidad, de hecho, desde aproximadamente 1931, se ha considerado al color como un parámetro de calidad de productos. Sin embargo, cuando la era digital empezó, se definió que el color puede ser medido por tres estímulos en tres coordenadas distintas. De este momento nace la escala CIEL\*a\*b. Esta escala da tres valores en tres escalas, la primera es "L" y se refiere a la luminosidad, con una escala del negro absoluto al blanco. Mientras que "a" es un intervalo de verde a rojo y "b" un intervalo de azul a amarillo (Di Blasi *et al.*, 2014).

**Capacidad de retención de agua:**

Entre las propiedades funcionales de las proteínas, se encuentra la capacidad de retención de agua. Ésta se refiere a la cantidad de agua que pueden absorber las proteínas, sin perderla. En las legumbres existe un amplio intervalo de este valor, por lo que las proteínas de legumbres tienen distintos usos dentro de la industria (Onyango, 2022). Esta propiedad es importante para la industria de alimentos, ya que influye en la textura final de un producto.

**Capacidad de retención de aceite (CRE):**

La capacidad de retención de aceite se refiere a la cantidad de aceite o agente oleoso que pueden llegar a absorber y retener las proteínas, en este caso las proteínas de las legumbres. Se refiere a que las proteínas tienen una cierta capacidad de retención de grasa. Esta capacidad depende de las interacciones entre las proteínas y las grasas (Guerrero *et al.*, 2003). Por lo que para obtener una mayor capacidad de retención de aceite las proteínas deben de ser ricas en aminoácidos hidrofóbicos o no polares. Al igual que la capacidad de retención de agua, la CRE también influye en la textura final de los alimentos.

**Capacidad de espumado:**

Es una propiedad funcional de las proteínas que forman capas estables y rodean las gotitas de gas en una fase líquida. De esta manera reducen la tensión superficial de la interfase aire-agua y forman espuma (Aguilera, 2009). La espuma es un sistema coloidal formado por dos fases, el aire es la fase gaseosa que está dispersa y rodeada por un líquido. Esta propiedad funcional de las proteínas depende de la interacción de dos fases que no son miscibles entre sí por lo que se le conoce como una propiedad de superficie (Guerrero *et al.*, 2003). La capacidad de espumado ayuda a darle esponjosidad a los alimentos, influyendo en su textura y apariencia final.

**Capacidad de emulsificación:**

Esta propiedad se refiere a la capacidad que tienen las proteínas de formar una dispersión oleosa en un medio acuoso. La capacidad emulsionante de las proteínas puede variar ya sea por el pH, por la solubilidad de las proteínas y la estructura de éstas. Las legumbres tienen buena actividad emulsionante, debido a sus proteínas globulares (Aguilera, 2009). Además de que las legumbres contienen una alta cantidad de aminoácidos no polares o hidrofóbicos como son la leucina y valina (Margier *et al.*, 2018). La capacidad de emulsificación es, al igual que la de espumado, una propiedad de superficie, ya que

depende de la interacción de dos fases inmiscibles entre sí, en este caso la fase oleosa que se dispersa en la fase acuosa (Guerrero *et al.*, 2003). La capacidad de emulsificación ayuda a la textura y apariencia final de productos alimenticios, es especial a alimentos con alto contenido de grasa como aderezos.

### **Electroforesis:**

La electroforesis es una técnica de separación de partículas coloidales que pueden ser proteínas o ácidos nucleicos. La separación ocurre en geles y de acuerdo al tamaño de las proteínas y con carga eléctrica con la aplicación de un campo eléctrico. Luego con técnicas de teñido se observan las bandas del recorrido de las proteínas en el gel durante la aplicación de la carga eléctrica. Para la separación de proteínas se utiliza un gel de poliacrilamida (INS, 2003). En la electroforesis, los geles de acrilamida actúan como un tamiz molecular, donde las proteínas de mayor peso molecular tienen un movimiento retardado, mientras que las proteínas de menor peso molecular tienen mayor desplazamiento. De esta manera se genera la separación por tamaño molecular de las proteínas (Sarmiento, 2012).

### **Cuantificación de proteína soluble por el método de Bradford**

El método de Bradford es una técnica colorimétrica que permite determinar la concentración de proteínas en disolución. Se utiliza el azul de Coomassie para indicar la presencia de proteína. Este indicador cambia de color cuando se encuentra en su estado aniónico, neutral y catiónico. Cuando el azul de Coomassie está protonado presenta un color rojo, pero al entrar en contacto con proteínas, el colorante se une a éstas y cambia a su estado aniónico. En el estado aniónico presenta un azul brillante y se lee su absorbancia a 595 nm. La absorbancia a esa longitud de onda es directamente proporcional a la concentración de proteína. La reacción del colorante sucede con los grupos aminos de la proteína, principalmente reacciona con aminoácidos básicos y aromáticos, en especial con arginina (Bio-Rad, 2005). Estas reacciones son de tipo hidrofóbicas y por interacciones de Van der Waals (Compton *et al.*, 1985).

### **Secado por Aspersión**

En esta operación se puede transformar un fluido, ya sea una solución o dispersión, en un material sólido. Se realiza atomizando en gotas minúsculas en un medio de secado a una alta temperatura (entre 150-300 °C), obteniendo como resultado un polvo. El secado por aspersión minimiza el manejo del producto y además ayuda a que el producto sea no perecedero porque disminuye la actividad de agua y el contenido de humedad, a niveles que aseguran que el desarrollo microbiano no sea posible (Fabela, 2017).

Para la obtención de hidrolizados y aislados de legumbres, ya se ha utilizado el método de secado por aspersión, después de una hidrólisis enzimática, de una precipitación ácida o de otro tipo de tratamiento. De esta manera se obtienen los polvos finos deseados. Por ejemplo, en 1997 se concentró proteína de haba por precipitación isoeléctrica y se compararon las características del concentrado con un secado por aspersión y con secado por liofilización (Otegui *et al.*, 1997). Se realizó otro estudio en 2017 con el objetivo de determinar el efecto de la temperatura del secado por aspersión en las características fisicoquímicas y funcionales de aislados de proteínas de tres legumbres distintas nativas de Camerún (Blaise *et al.*, 2017). Y en un estudio más reciente en 2021, se evaluaron los efectos del secado por aspersión en las características de harinas de chícharos (Chen *et al.*, 2021).

### **Pruebas del Producto final**

Para comprobar las propiedades tecnofuncionales de los hidrolizados, se realizó una prueba de altura y un análisis de textura a los *hotcakes*.

### **Análisis del perfil de Textura**

Para evaluar la calidad de un alimento, ya sea natural o procesado, se debe de tomar en cuenta la textura. Este parámetro proporciona información importante sobre la aceptabilidad, calidad, frescura e ingredientes de un alimento. Se ha demostrado que la textura es un parámetro importante que determina si el consumidor acepta o rechaza un producto (Torres *et al.*, 2015). Existen varios métodos sensoriales para evaluar la textura; sin embargo, la evaluación sensorial requiere de un largo tiempo y además bastantes recursos para ser llevada a cabo, por lo que se ha desarrollado una maquinaria que evalúa la textura de manera mecánica. De esta necesidad, nació el método instrumental, que en la actualidad ya es utilizado comúnmente, que se llama análisis del perfil de textura, TPA por sus siglas en inglés. Este método simula la acción mecánica de la masticación del alimento, además mide parámetros como masticabilidad, dureza, cohesividad, gomosidad, elasticidad y más. Estos parámetros en conjunto dan información sobre la tasa de deformación del alimento cuando se aplica la fuerza de masticación con la mandíbula. El TPA, es utilizado para una amplia variedad de alimentos como fruta, vegetales, quesos, carne fresca, productos cárnicos y más. Actualmente en otras aplicaciones es utilizado para describir la calidad de las salchichas hechas con carne cocida para evaluar su calidad y proponer modificaciones en la formulación (Torres *et al.*, 2015).



## **Digestibilidad de Proteínas y PDCAAS**

La calidad de las proteínas es definida por la cantidad de aminoácidos esenciales que contienen. Por lo que mientras mayor cantidad de aminoácidos esenciales que un tipo de proteína contenga, está tendrá un mayor valor biológico. Al conocer el contenido de aminoácidos de una proteína, es posible predecir las reacciones e interacciones que ésta tendrá en el organismo. El valor biológico que contienen las proteínas no es constante, por lo que esta medida debe ser comparado contra un patrón, al cual se le llamará una “proteína ideal”. Además de que existe otro factor que influye en el valor biológico y es la digestibilidad de la proteína. La digestibilidad se refiere a que tanto resiste o no la proteína a las enzimas del metabolismo para su hidrólisis. De la necesidad de evaluar con mayor eficiencia el valor biológico de la proteína, aparece el PDCAAS (Protein digestibility Corrected Amino Acid Score), que es, como el nombre lo indica, la corrección del puntaje obtenido de aminoácidos de la proteína, por su digestibilidad. El valor máximo de PDCAAS que puede tener una proteína es de 1.0. El PDCAAS se obtiene del producto del *score* original de la proteína con el valor que corresponde a la digestibilidad. Este último valor se calcula utilizando de referencia a niños mayores de 1 año, ya que son los que tienen mayor requerimiento de aminoácidos, con excepción de los lactantes (Suárez *et al.*, 2006).

## **ANTECEDENTES**

La hidrólisis de proteínas por medio de ultrasonido ha sido realizada previamente, con proteínas de origen animal. En el 2022, Cruz obtuvo hidrolizados de proteína de grillo doméstico (*Acheta domesticus*) con ultrasonido y los incorporó a un producto final de batido cárnico para evaluar sus propiedades tecnofuncionales (Cruz, 2022). Sin embargo, no se ha realizado con proteínas de legumbres.

## METODOLOGÍA

### Estrategia

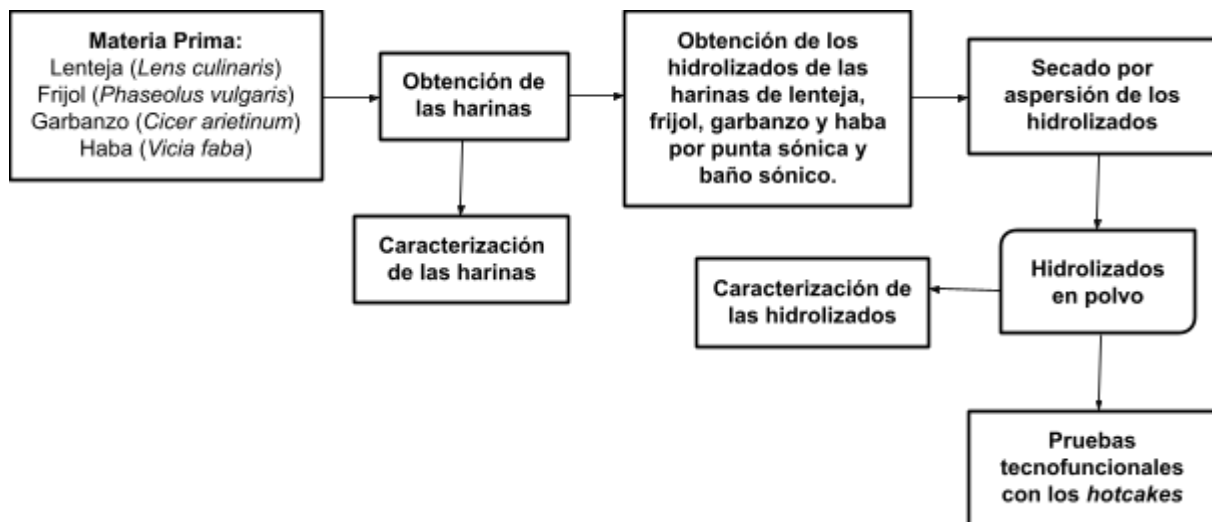


Figura 1. Metodología general del trabajo experimental.

### Obtención de la harina de legumbres

La metodología que se siguió para la obtención de las harinas de legumbres fue descrita por Velázquez en 2019. La materia prima que se obtuvo fueron granos secos de la marca San Lázaro®, adquiridos en supermercados. Partiendo de una cantidad de 3 kg de grano seco de cada legumbre, se inspeccionó cada bolsa adquirida y se retiraron las impurezas y semillas defectuosas. Se realizaron 3 lavados posteriores con agua potable, descartando el agua de cada lavado. Posteriormente se colocaron en remojo con agua potable en una proporción aproximada 1:2 de legumbre : agua, durante 24 horas. Después del remojo, se retiró el agua y se cocinaron las legumbres en una olla exprés eléctrica durante 25 minutos. Las legumbres se secaron a una temperatura de 54 °C aproximadamente durante 24 horas para cada legumbre en un horno de charolas *Avenco*®. Finalmente, después del secado se trituraron las legumbres secas en una licuadora marca *Thermomix*® hasta conseguir un polvo fino, de un tamaño de partícula promedio de 60 a 100  $\mu\text{m}$  de diámetro (Velázquez, 2019) (ver anexo figura 1).

### Obtención del pH de solubilidad óptima

La determinación del pH óptimo de solubilidad se obtuvo cuantificando la proteína soluble mediante el método de Bradford (Jeong et al., 2021). Se pesó 1 gramo de cada harina y se dispersó en 7 mL de agua destilada en cada tubo, posteriormente cada muestra se llevó a valores de pH de 1.00 a 13.00, en cada tubo etiquetado con el valor de pH específico por

triplicado. Se centrifugó a 3000 rpm en una centrifuga VELAB, modelo VE-4000 durante 15 minutos y se obtuvo el decantado. Posteriormente se le hizo reaccionar con el reactivo de Bradford y se leyeron las absorbancias a 595 nm. Mediante una curva patrón (ver Anexo gráfico 1), con un intervalo de concentraciones de proteína de 0.0-1.4 mg/mL, del se obtuvo la cantidad de proteína soluble y se obtuvo el pH al cuál se encontraba una mayor cantidad de ésta. La proteína utilizada para la solución patrón fue albúmina bovina sérica.

Se analizaron los datos estadísticamente con una ANOVA y diferencia mínima significativa (DMS)  $p < 0.05$ , se obtuvo que existen diferencias significativas. Los pH ideales para frijol y lenteja fueron de 12, mientras que para garbanzo y haba fue pH de 13. (Ver anexo figuras 2-5)

## **Caracterización de las harinas e hidrolizados**

### **Determinación de la humedad (% H):**

La determinación de la humedad se realizó pesando por triplicado 0.100 g de cada harina e hidrolizado de legumbre y colocando las muestras en una termobalanza marca *Sartorius* (Ver anexo figura 6).

### **Medición de la actividad de agua:**

Para la medición de la actividad de agua ( $a_w$ ), se utilizaron por triplicado muestras de 1.000 g de harina e hidrolizado de cada legumbre y se realizó con un medidor de actividad de agua por punto de rocío a 25 °C *Aqualab 4TE Meter EUA* (Ver anexo figuras 7 y 8).

### **Medición del pH:**

Se pesó 1.000 g de cada harina e hidrolizado por triplicado y se dispersó en 10 mL de agua destilada en tubos falcón. Posteriormente, se homogeneizó durante 30 segundos en un vórtex (*Vortexer*) a 3000 rpm. Como instrumento de medición se utilizó un potenciómetro *Science Med*. Se calibró el potenciómetro con soluciones amortiguadoras de pH de 4, 7 y 10.

### **Obtención de la colorimetría:**

Para medir el color de las harinas e hidrolizados obtenidos, se utilizó un colorímetro *FRU* modelo WR10QC, y se realizó por triplicado en distintos puntos al azar de las harinas, obteniéndose las coordenadas CIELab L, a y b (Granville, 2002).

## Pruebas funcionales

### Determinación de la capacidad de retención de agua:

Se pesó por triplicado 0.05 g de cada harina e hidrolizado, y se dispersó en 1.5 mL de agua destilada en tubos falcón. Se homogeneizó durante 20 segundos en un vórtex (*Vortexer*) a 3000 rpm. Posteriormente, se dejó en reposo durante 30 minutos a temperatura ambiente. Después del reposo, se centrifugó a 4000 rpm durante 30 minutos en una centrifuga *VELAB* de baja velocidad modelo *VE-4000*. Se decantó el sobrenadante y se midió la masa del tubo con el sedimento (Aguilera, 2009). La CRA se calculó de la siguiente manera:

$$CRA = \frac{(Masa\ del\ sedimento - Masa\ de\ muestra\ seca)}{(Masa\ de\ muestra\ seca)}$$

### Determinación de la capacidad de retención de aceite:

El procedimiento de la determinación de la capacidad de retención de aceite (CRE), se pesó por triplicado 0.05 g de cada harina e hidrolizado, y se dispersó en 1.5 mL de aceite en tubos falcón. En este caso fue aceite comestible puro de soya marca *Great Value* adquirido en un supermercado. Se homogeneizó durante 20 segundos en un vórtex (*Vortexer*) a 3000 rpm. Posteriormente se dejó en reposo durante 30 minutos a temperatura ambiente. Después del reposo, se centrifugó a 4000 rpm durante 30 minutos en una centrifuga *VELAB* de baja velocidad modelo *VE-4000*. Se decantó el sobrenadante y se midió la masa del tubo con el sedimento. (Aguilera, 2009) La CRE se calculó de la siguiente manera:

$$CRE = \frac{(Masa\ del\ sedimento - Masa\ de\ muestra\ seca)}{(Masa\ de\ muestra\ seca)}$$

### Determinación del índice de actividad emulsionante (IAE):

Para el procedimiento se pesaron 0.200 g de cada harina e hidrolizado por triplicado y se dispersaron en 20 mL de buffer de fosfatos 0.2 M a pH de 7, adicionando 20 mL de aceite de soya, marca *Great Value*, y se homogeneizó a aproximadamente 22000 rpm durante 90 segundos con un homogenizador *Science Med* modelo D-160. Se tomaron alícuotas de 50  $\mu$ L y se mezcló con 10 mL de solución de dodecilsulfato de sodio (SDS) al 0.3 % m/v. Se leyó absorbancia a 500 nm (Kim *et al.*, 2021). Se calculó de la siguiente manera:

$$IAE \left( \frac{m^2}{g} \right) = 2 \times 2.303 \times \frac{A_0 \times FD}{10000 \times L \times \Theta \times C}$$

Donde,  $A_0$  es la absorbancia en el tiempo 0, FD es el factor de dilución de la muestra (1%), L el largo de la celda (1 cm),  $\Theta$  la porción de aceite (0.5) y C la concentración de la fase acuosa ( $g/cm^3$ ) (Kim *et al.*, 2021).

### **Determinación de la capacidad espumante:**

En la determinación de la capacidad espumante se pesó por triplicado 0.200 g de cada harina e hidrolizado, se dispersó en 20 mL de buffer de fosfatos 0.2 M a pH de 7. Se homogeneizó a aproximadamente 22000 rpm durante 90 segundos con un homogenizador *Science Med* modelo D-160. Se midió inmediatamente el volumen que alcanzaba la espuma en una probeta graduada de 100 mL y se registró el volumen cada 5 minutos durante media hora (Antonic *et al.*, 2020). Se calculó de la siguiente manera:

$$CFE (\%) = \frac{V_T - V_0}{V_0} \times 100$$

Donde:  $CFE_0$  es la capacidad de formación de espuma en el tiempo 0 y  $V_0$  es el volumen antes de homogeneizar (Antonic *et al.*, 2021).

### **Hidrólisis con la punta sónica:**

Se pesaron 14 g de cada harina, se disolvieron en 100 mL de agua destilada y se ajustó con NaOH 1N a los valores de pH óptimos de solubilidad obtenidos previamente (12 para lenteja y frijol, 13 para garbanzo y haba). La punta sónica *Cole Parmer Ultrasonic Processor 1447* se utilizó al 25 % de su potencia que equivale a 22 kHz. Se sumergió la punta directamente en cada disolución y se activó durante 20 minutos. Se tomaron muestras a los 0, 10 y 20 minutos. Posteriormente se centrifugaron a 3000 rpm en una centrifuga VELAB, modelo VE-4000 durante 15 minutos y se obtuvo el decantado donde la proteína soluble estaba presente y se cuantificó con el método de Bradford.

### **Hidrólisis con el baño sónico:**

Se pesaron 14 g de cada harina, se disolvieron en 100 mL de agua destilada y se ajustó con NaOH 1N, a los valores de pH óptimos de solubilidad obtenidos previamente. Al tener la disolución se añadió en bolsas de plástico resellables. Se sumergieron las bolsas en el baño sónico *CIVEQ* modelo 8892 y se dejó actuar durante 20 minutos tomando muestras a tiempos de 0, 10 y 20 minutos, a una potencia de 40 kHz. Posteriormente, se centrifugó a 3000 rpm en una centrifuga *VELAB*, modelo VE-4000 durante 15 minutos y en el decantado se cuantificó la proteína soluble con el método de Bradford.

## **Secado por Aspersión:**

Se usó un secador por aspersión marca *Buchi*, ajustando la temperatura de secado a 175 °C y usando un flujo de 24%, con un 80% de porcentaje de aspiración.

## **Electroforesis**

Se usó el método reportado por Laemmli 1970 y Zorica *et al.*, 2012. El gel concentrador fue de 1.5 cm de altura, 4% T y 3% C. Por otro lado, el gel separador fue de 3 cm de altura, 10% T y 3% C. Se añadieron 15 µL de solución de harinas e hidrolizados disueltas en el amortiguador muestra (agua desionizada, 0.5 M Tris-HCl pH 6.8, glicerol, SDS 10%, azul de bromofenol). La electroforesis se llevó a cabo a 180 V, 18 ± 1°C en una cámara Mini Protean (modelo III, Bio-Rad, Richmond, California, EUA).

## **Evaluación tecnofuncional de los hidrolizados en *hotcakes***

Para evaluar a los hidrolizados y sus propiedades tecno-funcionales, se sustituyó directamente la harina de lenteja y frijol, por el hidrolizado de lenteja y frijol en una formulación de harina de *hotcakes*. Esta harina de *hotcake* fue desarrollada en el Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología, como una alternativa de alto valor biológico por un mayor contenido de proteína. La harina de *hotcakes* fue hecha a base de harina de avena, harina de amaranto, harina de lenteja y harina de frijol. Se realizaron *hotcakes* con la formulación original del ICAT, y con los hidrolizados como sustitutos de las harinas de lenteja y frijol, y *hotcakes* con harina comercial marca Gamesa. Se mezclaron los ingredientes secos y se le adicionaron los ingredientes húmedos. Se cocinaron en una parrilla eléctrica a fuego bajo. Se midió la altura de cada *hotcake* realizado con la formulación original del ICAT y con los hidrolizados.

## **Análisis del Perfil de Textura de los *hotcakes***

A los *hotcakes* se les realizó un Análisis del Perfil de Textura (TPA). El perfil de textura fue realizado con el texturómetro BROOKFIELD® Texture Pro CT3. Se colocó una muestra de cada *hotcake* de las tres formulaciones utilizadas. La sonda de medida que se utilizó fue el cilindro hecho de aluminio, AACC de 36 mm. Se realizaron tres medidas de cada formulación de *hotcake*.

## **Tratamiento de Datos**

Para determinar si hubo diferencia entre las caracterizaciones fisicoquímicas de las harinas y de los hidrolizados, se hizo un análisis estadístico con XLSTAT Versión 2014.5.03. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y con una prueba de diferencia mínima significativa (DMS) con  $p < 0.05$ . Cada medición se realizó por triplicado y se reportan los valores promedio con su desviación estándar correspondiente.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Obtención de harinas de legumbres**

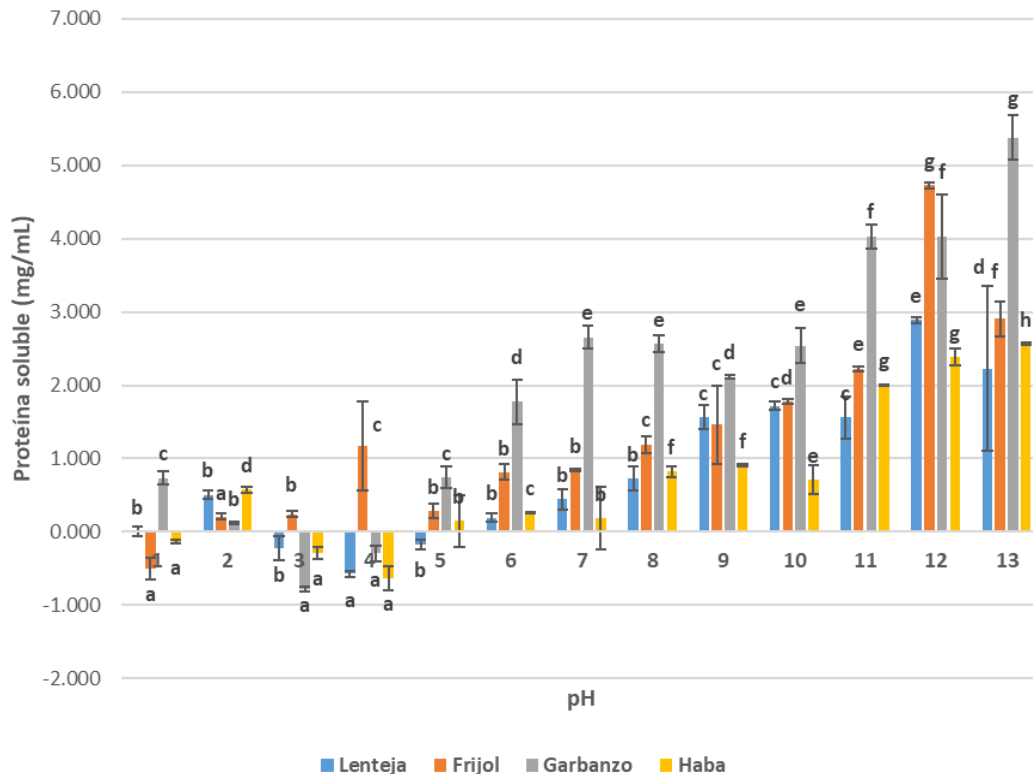
Del proceso de la obtención de las harinas se obtuvieron polvos finos con una humedad menor al 10 % y con una actividad de agua ( $a_w$ ) menor a 0.6. Estos valores de humedad y  $a_w$  generan que sean productos no percederos y tienen menor riesgo de desarrollo microbiológico, por lo que se aceptaron las harinas obtenidas para realizar la hidrólisis posterior.

### **Determinación del pH óptimo de solubilidad**

Se realizó un barrido de pH, y con una curva patrón se determinó la cantidad de proteína soluble a cada pH. Posteriormente, se realizó un ANOVA ( $p < 0.05$ ) para cada legumbre, se encontró diferencia significativa en el barrido de pH con respecto a la máxima cantidad de proteína soluble. Los valores de pH de solubilidad máxima, como se observa en el gráfico 1, para frijol y lenteja fueron de 12 ( $p < 0.05$ ), mientras que para garbanzo y haba fue pH de 13 ( $p < 0.05$ ). El pH de máxima solubilidad es necesario para la hidrólisis debido a que se han extraído con mayor rendimiento. Esto se debe a que en el punto isoeléctrico las proteínas precipitan, por lo que el fenómeno de la cavitación que genera la hidrólisis no tendría la misma función. La cavitación se genera en sistemas líquidos, donde se crean una serie de compresiones y descompresiones en el líquido, se desplazan las moléculas disueltas y se generan las vacuolas de gas que implosionan, por lo que las proteínas deben estar disueltas en el medio (Ozuna *et al.*, 2015).

Estos valores alcalinos de pH, fueron los esperados debido a que las proteínas de las legumbres tienen un punto isoeléctrico en la región de pH de 4 a 6, lo que significa que mientras el pH esté más alejado de esta región, mayor cantidad de proteína soluble estará presente (Sangronis *et al.*, 2004).

Por otro lado, en el gráfico 1, se observa que se obtuvieron valores negativos de la concentración de la proteína soluble. Estos valores negativos, se obtuvieron debido a que la absorbancia obtenida fue menor a la contemplada en la regresión lineal de la curva patrón, los valores negativos se debieron a la sensibilidad del método.



**Gráfico 1.** Variación de la cantidad de la proteína soluble a diferentes valores de pH en lenteja, frijol, garbanzo y haba. Letras iguales en las legumbres significa que no hay diferencia significativa (DMS  $p > 0.05$ ).

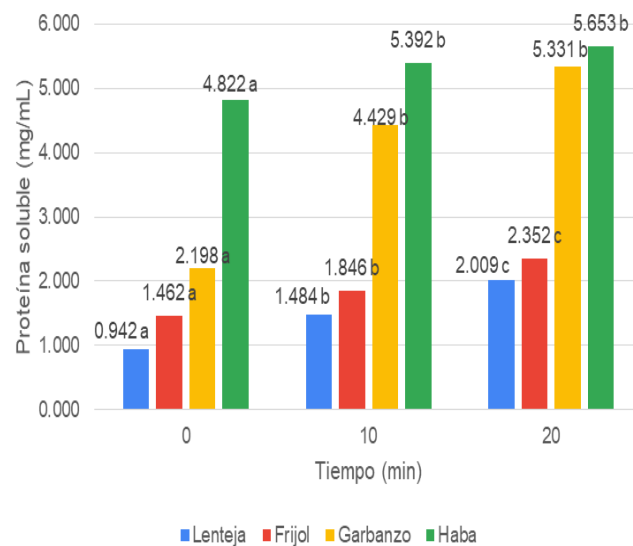
### Sonicación por punta sónica y baño

Como se observa en la gráfica 2, con la punta sónica se hidrolizaron todas las harinas. Para la lenteja la cantidad de proteína soluble fue aumentando con el tiempo y alcanzó una mayor concentración significativa de proteína soluble después de 20 minutos con una media de 2.009 mg/mL. El frijol tuvo un mismo comportamiento que la lenteja, aumentó la cantidad de proteína soluble conforme el tiempo y alcanzó la mayor concentración significativa a los 20 minutos con una media de 2.352 mg/mL. Para el caso del garbanzo y el haba, no hubo diferencia significativa entre los 10 minutos y 20 minutos de hidrólisis. Por lo que el tiempo óptimo de hidrólisis para estas legumbres fue de 10 minutos donde el garbanzo alcanzó una concentración de proteína soluble media de 4.429 mg/mL y el haba alcanzó 5.392 mg/mL. Tal como se había comprobado en el estudio hecho en el 2022 por Fadimu *et al*, donde se demostró que, aplicando un tratamiento de ultrasonido a las proteínas de lupino, el nivel de

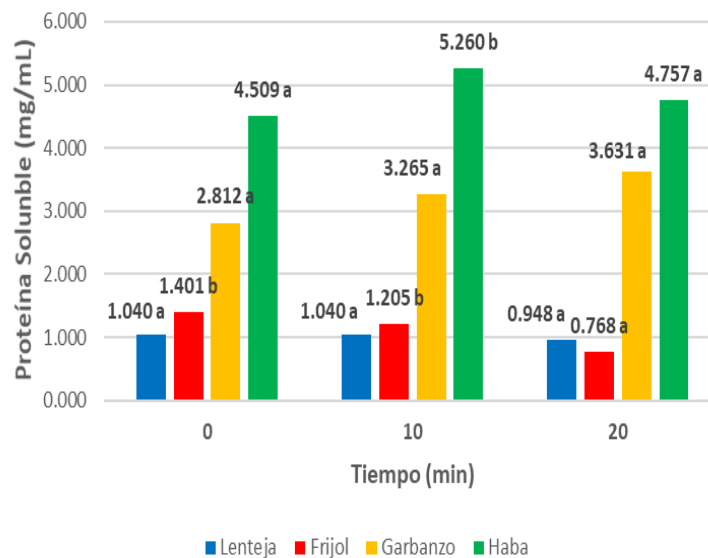


hidrólisis aumentó significativamente, en su estudio para conseguir hidrolizados de proteína de lupino.

Por otro lado, se observa en la gráfica 3 que con el baño sónico la única harina que presentó un incremento significativo en la proteína soluble después de la sonicación fue el haba, transcurridos 10 minutos. Incluso hubo una disminución significativa en la concentración de proteína media a los 20 minutos de hidrólisis para el caso del frijol y del haba. Esta disminución se debe a que puede que en el frijol y el haba otros componentes como los carbohidratos y el tipo de fibra, hayan influenciado en esta disminución de proteína soluble (Sangronis *et al.*, 2004).



**Gráfico 2 .** Incremento en la proteína soluble en la hidrólisis por punta sónica.



**Gráfico 3.** Incremento en la proteína soluble en la hidrólisis por baño sónico.

La diferencia entre la efectividad del baño y la punta se debe a que en la punta hubo contacto directo con la muestra y en el baño no tuvo la misma condición. Silva (2015) explicó que cuando una punta activa está aplicando la cavitación sin contacto directo, tal fenómeno no genera la energía mecánica necesaria. Por lo que, en el baño al tener el material de plástico como una barrera, la energía que generó la cavitación no fue suficiente para hidrolizar a todas las legumbres utilizadas.

El haba presentó hidrólisis en el baño sónico, ésta ha sido comparada con las demás legumbres en su estabilidad, particularmente con la lenteja y se obtuvo que la resistencia a cambios estructurales de las proteínas del haba era menor (Punia *et al.*, 2019). La razón por la que el haba es menos resistente a la sonicación por baño es porque tiene un menor porcentaje de almidón resistente que otras legumbres al ser cocinada y almacenada, como por ejemplo el frijol, que cuando se cocina y almacena su contenido de almidón resistente aumenta (Silva-Cristobal *et al.*, 2007).

## Secado por aspersion

**Tabla 2. Rendimiento del secado por Aspersion**

<i>Legumbre</i>	<i>Masa antes de hidrolizar (g)</i>	<i>Masa después del secado (g)</i>	<i>% de Rendimiento</i>
Lenteja	70.00	4.77	6.82
Frijol	70.00	2.40	3.43
Garbanzo	70.00	2.59	3.70
Haba con Punta	70.00	9.14	13.06
Haba con baño	70.00	5.33	7.61

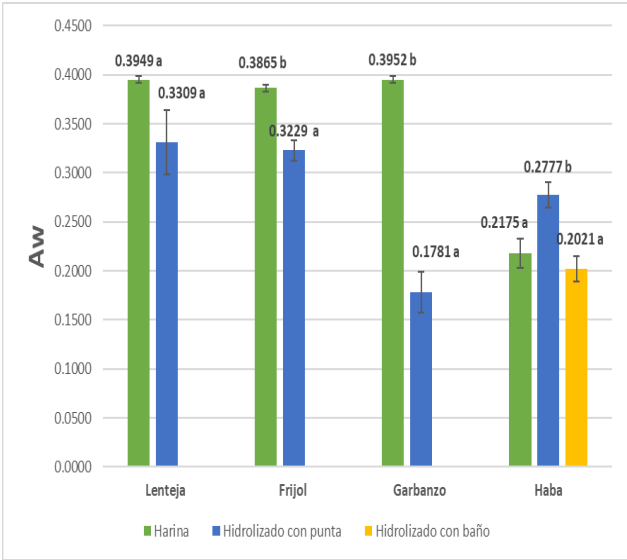
Los rendimientos del secado fueron los esperados, ya que como se comentó en la introducción las legumbres tienen 20-40 % de proteínas. Esto quiere decir que esos porcentajes serían los máximos que se podrían haber conseguido después del secado, en una hidrólisis al 100 %. Con estos resultados se concluye que fue una hidrólisis parcial ya que lo que se obtuvo después del secado fueron solamente las proteínas solubles que quedaron después de la centrifugación. Los rendimientos obtenidos fueron menores a los reportados por Flores *et al* en 2016, que reportó rendimientos entre 10 al 13 % como resultado de una extracción alcalina en una planta piloto. La ventaja de la hidrólisis con ultrasonido es la reducción del uso de más reactivos y solventes.

Con el secado por aspersión se obtuvieron polvos finos (figura 3). El tiempo de secado se encuentra en el intervalo de 30 minutos a 1 hora. Al tener tanto las harinas como los hidrolizados en polvo se puede comparar sus propiedades fisicoquímicas.

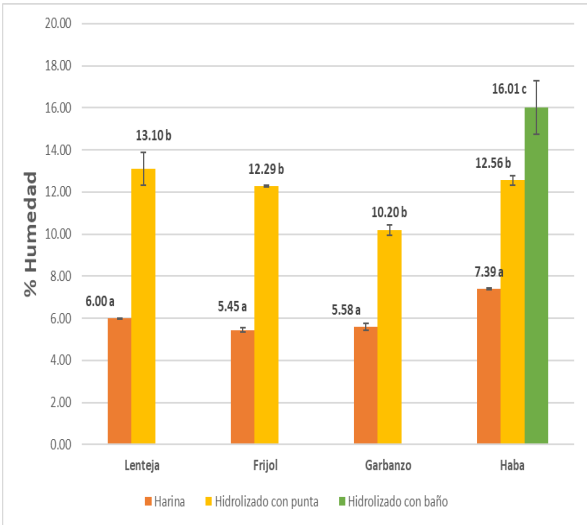


**Figura 3.** Imagen del ejemplo de producto obtenido después del secado del hidrolizado de haba con punta sónica.

**Propiedades fisicoquímicas de las harinas e hidrolizados**



**Gráfico 4.** Cambio del aw en las harinas e hidrolizados de proteína. Letras iguales en las legumbres significa que no hay diferencia significativa ( $p > 0.05$ ).

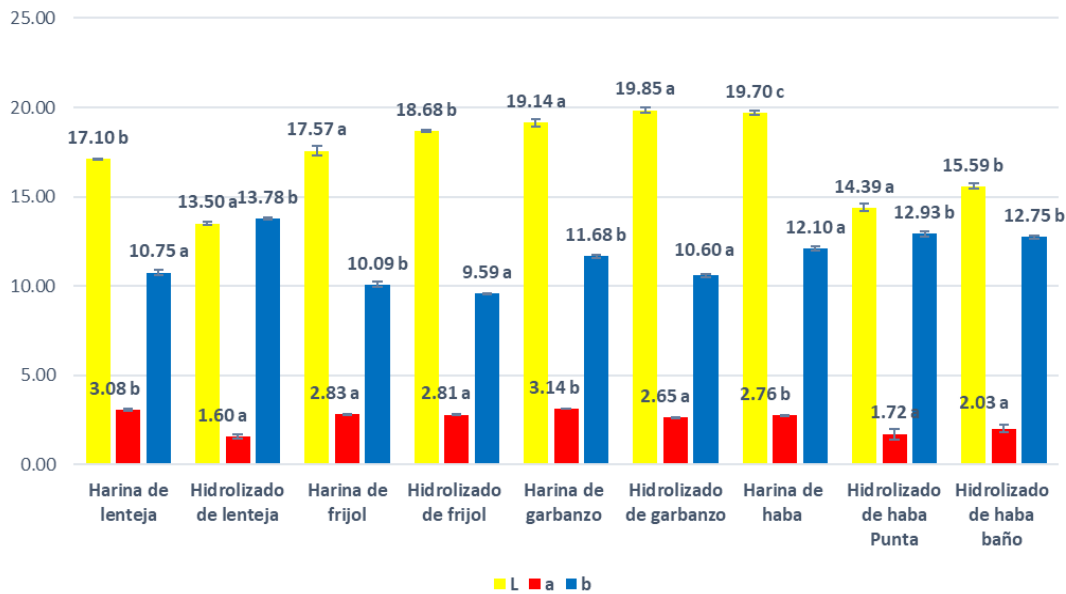


**Gráfico 5.** Cambio del % de humedad en las harinas e hidrolizados de proteína. Letras iguales en las legumbres significa que no hay diferencia significativa ( $p > 0.05$ ).

La actividad de agua tuvo una disminución significativa (Gráfica 4,  $p < 0.05$ ). La disminución del  $a_w$  en los hidrolizados, es atribuida al proceso de secado por aspersion. Esta técnica ayuda a disminuir la humedad y actividad de agua en las muestras para prolongar la vida de anaquel de productos (Fabela, 2017). Aunque en el caso de la lenteja, no hubo diferencia significativa, esto pudo haber sido porque en la harina de esta legumbre, ya se había reducido de manera importante la actividad de agua durante el proceso de secado que se llevó a cabo para la obtención de la harina. La humedad aumentó significativamente en todos los casos (Gráfica 5,  $p < 0.05$ ). Este fenómeno se debe a que, al hidrolizarse las proteínas de las legumbres, éstas pierden su estructura inicial, la cual es globular, al ya no tener esta estructura, los aminoácidos quedan más expuestos y el agua se puede unir a estos. El agua que presenta la humedad aumentada es un tipo de agua débilmente ligada, lo que significa que esta agua está unida por puentes de hidrógeno a las cadenas peptídicas resultantes (Chimborazo, 2015), que no afectan en el  $a_w$ . Esto quiere decir que, aunque la humedad haya aumentado, al disminuir el  $a_w$ , los hidrolizados obtenidos siguen siendo no perecederos al igual que las harinas. Ya que el  $a_w$  resultó ser menor a 0.6 en todos los hidrolizados obtenidos.

En cuanto a la colorimetría, en un estudio realizado con hidrolizados por medio de enzimas proteolíticas (papaína), de distintos tipos de legumbres (Wani *et al*, 2015), el color fue afectado por la hidrólisis. En dicho estudio se obtuvo que en los hidrolizados la luminosidad (L) disminuyó en todos los casos.

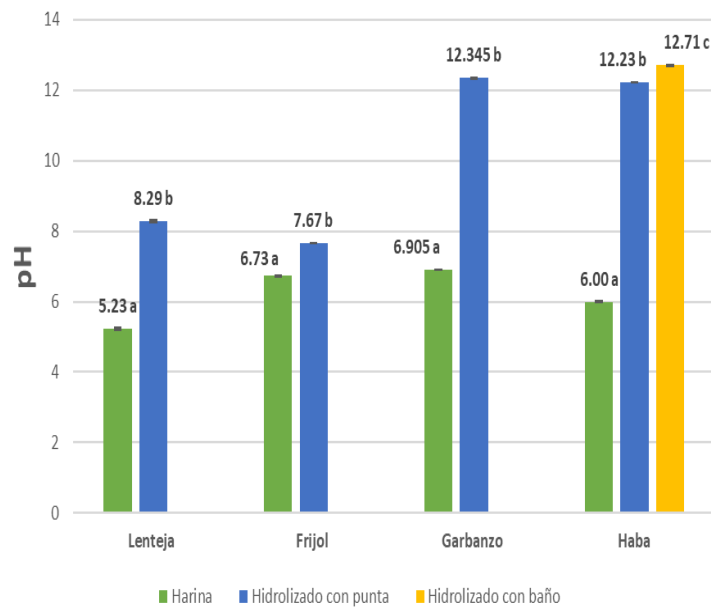
En esta investigación, encontramos lo contrario, a lo reportado por Wani en 2015, el valor (L) aumentó en el frijol, disminuyó para lenteja y haba, mientras que no hubo diferencia significativa en garbanzo. Por otro lado, para el valor de "a", el cual se refiere a tonos rojo/verde, en el estudio realizado con papaína (Wani *et al*, 2015), aumentó en todos los casos, a diferencia de esta hidrólisis, como se aprecia en la gráfica 6, donde dicho valor disminuyó en la lenteja, el garbanzo y el haba, mientras que en el frijol no presentó diferencias significativas. Por último, en el estudio de papaína, los valores de "b", que se refiere a tonos de amarillo/azul, en algunos casos disminuyó al tiempo de 60 min de hidrólisis y en otro a los 30 min de hidrólisis aumentó o no hubo diferencia (Wani *et al*, 2015).



**Gráfico 6.** Gráfica del cambio de los valores de "L", "a" y "b" correspondientes a la colorimetría de las harinas e hidrolizados. Letras iguales en las legumbres significa que no hay diferencia significativa ( $p > 0.05$ ).

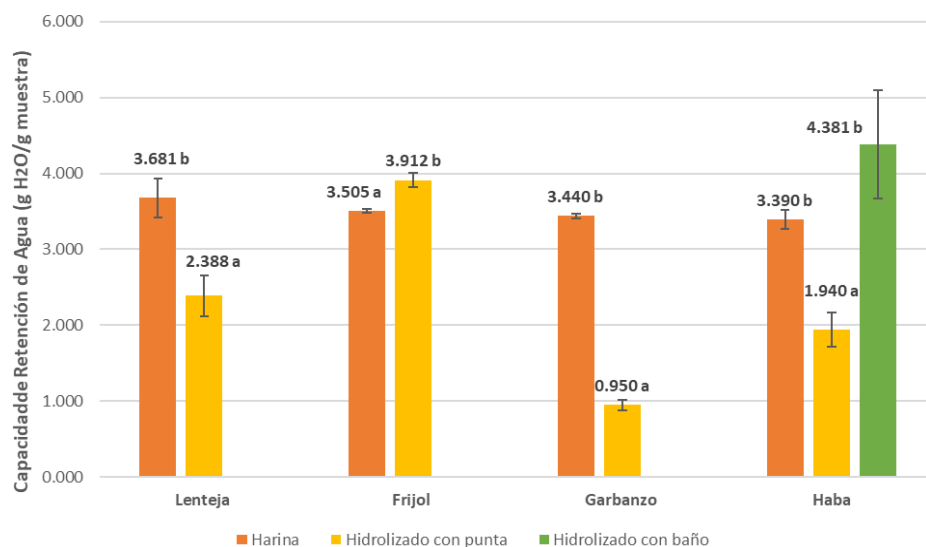
Por el contrario, en esta ocasión en la gráfica 6 se observa que los valores de "b" aumentaron para lenteja y haba, pero disminuyeron para frijol y garbanzo. En las legumbres, los compuestos responsables del color no son las proteínas, sino los polifenoles de cada legumbre. Las plantas leguminosas tienen en su mayoría flavonoides y particularmente tienen isoflavonas, los cuales pueden estar glicosilados o como agliconas (Valencia *et al.*, 2017). Por lo que su solubilidad es baja en agua y al obtener solamente el decantado durante la centrifugación, los polifenoles se quedan en el precipitado. Las tendencias de cambio de color que se observaron no fueron por el cambio estructural de las proteínas de las legumbres, sino por los polifenoles de cada una, ya que se quedan en el precipitado y por lo tanto el polvo obtenido del secado por aspersión del decantado cambió de color.

En el caso de los valores de pH de las harinas, coinciden con la literatura ya que se ha reportado que las legumbres tienen un pH entre 5.5 y 7.5 (Khazaei *et al.*, 2019). Por lo que las legumbres son catalogadas como alimentos de baja acidez.



**Gráfico 7.** pH en las harinas e hidrolizados de proteína. Letras distintas en las legumbres significa que hay diferencia significativa ( $p < 0.05$ ).

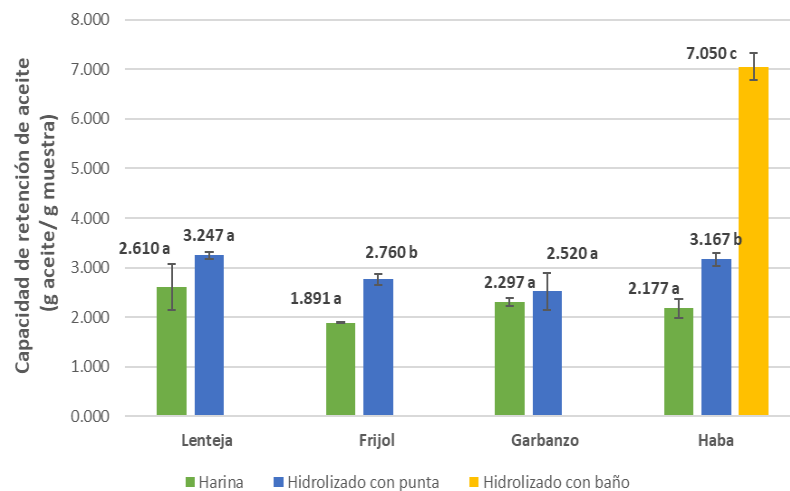
El valor del pH de los hidrolizados no alcanzó los niveles iniciales antes de la hidrólisis, en el caso de la lenteja y frijol pH de 12, y para el garbanzo y haba de 13. En el caso de la lenteja y el frijol se observa que el pH de sus hidrolizados en ambos casos es menor a 12, esto sucede porque a medida que la hidrólisis avanza y los enlaces peptídicos se rompen, el pH va disminuyendo (Benítez *et al.*, 2008). Sin embargo, al comparar el pH de las harinas y los hidrolizados, hubo un aumento significativo en el pH de todos éstos



**Gráfico 8.** Capacidad de retención de agua en las harinas e hidrolizados de proteína. Letras iguales en las legumbres significa que no hay diferencia significativa ( $p > 0.05$ ).

En el caso de la retención de agua (CRA) de las harinas de legumbres tienden a tener altos niveles de retención de agua que van de 1.8 a 6.8 g/g (Keskin *et al.*, 2022), por los que los valores obtenidos experimentalmente de las harinas, 3.390 a 3.680 g/g entran en el intervalo

reportado en la bibliografía. Los hidrolizados presentaron disminuciones significativas en la capacidad de retención de agua en los casos de lenteja, garbanzo y haba. Como la capacidad de retención de agua se refiere a la cantidad de agua que es posible que retenga un producto, sin antes disolverse (Aguilera, 2009), al aumentar la cantidad de proteína solubles, debido a la hidrólisis, quedó mayor cantidad de proteína que se disuelve y al disolverse, no retiene el agua. En el caso del frijol, éste aumentó significativamente su capacidad de retención de agua, lo cual coincide con lo reportado por Sayed-Ahmed *et al.*, 2022, ya que para el caso del frijol el perfil de aminoácidos que contiene es peculiar, debido a que tiene un desequilibrio entre aminoácidos antagonistas (que son leucina, isoleucina y valina)(UCSF, 2018). Este es un factor que influye en su capacidad de retención de agua. Los frijoles contienen mayor cantidad de leucina e isoleucina en comparación con valina, sin embargo la leucina e isoleucina son de los aminoácidos más hidrofóbicos (UCSF, 2018) y en la hidrólisis otros aminoácidos se volvieron más disponibles, aumentando la capacidad de retención de agua. Además, su contenido original de lignina y polifenoles pueden disminuir la capacidad de retención de agua (Barajas *et al.*, 2018), pero al disminuir estos dos factores durante el proceso de obtención de los hidrolizados, la capacidad de retención de agua aumentó.



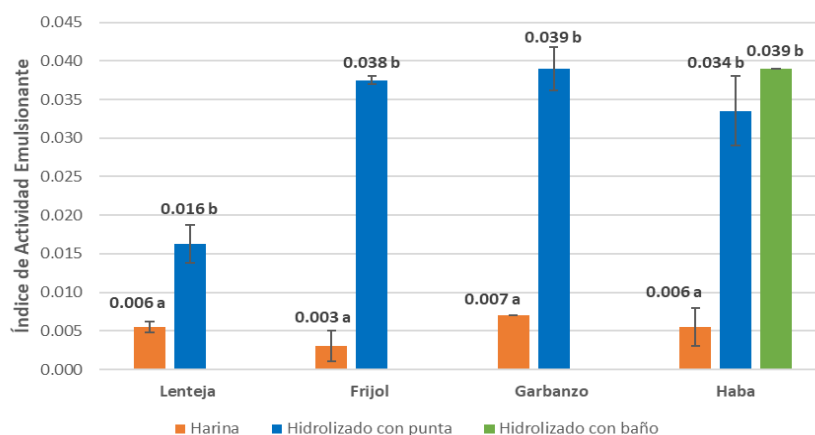
**Gráfico 9.** Capacidad de retención de aceite en las harinas e hidrolizados de proteína. Letras iguales en las legumbres significa que no hay diferencia significativa ( $p > 0.05$ ).

En el caso de la retención de aceite (CRE), en la literatura se registran valores para las harinas de entre 1.9 a 2.3 g/g (Sangronis *et al.*, 2004), similares a los obtenidos experimentalmente de 1.891 a 2.610 g/g. Además, para la lenteja, frijol y el haba, la capacidad de retención de aceite aumentó significativamente después de ser hidrolizadas. La retención de aceite está directamente relacionada con la cantidad de aminoácidos hidrofóbicos presentes en las legumbres, pero también depende de la disponibilidad de estos aminoácidos no-polares en las estructuras de las proteínas. No se modificó la proporción de

aminoácidos polares y no polares, lo que se está modificando son las estructuras de las proteínas y al hidrolizarse éstas, los aminoácidos hidrofóbicos aumentaron su disponibilidad y de esta manera aumentó la capacidad de retención de aceite.

En el caso del garbanzo, la capacidad de retención de aceite no tuvo diferencia significativa entre la harina y el hidrolizado. Esto pudo haber pasado porque la hidrólisis para el garbanzo no hizo disponibles a una mayor cantidad de aminoácidos hidrofóbicos. Esta tendencia donde la capacidad de retención de aceite concuerda con resultados obtenidos por Xu *et al* en 2014, donde compararon las capacidades de retención de aceite de harinas o hidrolizados de garbanzo después de distintos procesos de cocción encontraron que no hubo diferencias significativas; esto lo atribuyeron al contenido de lípidos del garbanzo, donde definieron que la capacidad de retención de aceite del garbanzo era inversamente proporcional al contenido de lípidos del garbanzo (Xu *et al.*, 2014).

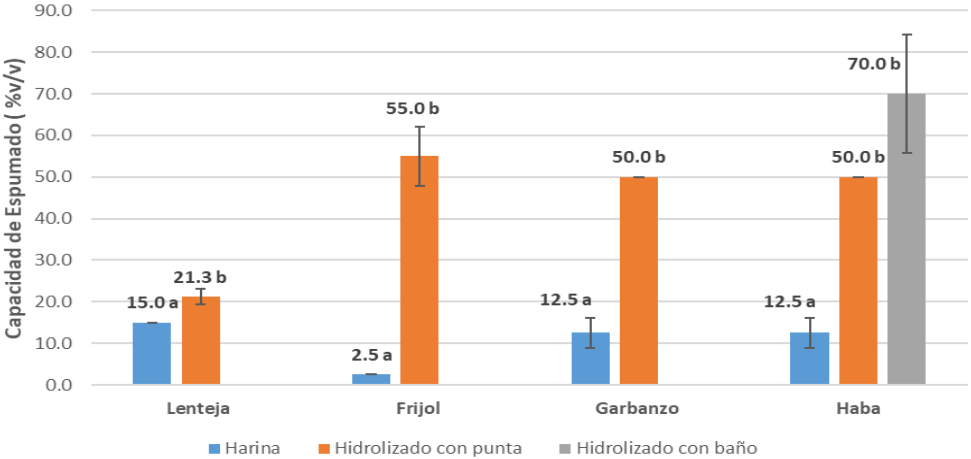
La capacidad emulsionante de las legumbres, que se muestra en el gráfico 10, es una propiedad de las proteínas que es muy sensible al tratamiento térmico. Al momento de cocinar las legumbres para la obtención de las harinas, se incrementó la exposición de cadenas polares, lo que disminuyó la actividad emulsionante en las harinas (Aguilera, 2009). Se ha reportado que ,para las legumbres crudas, se han obtenido datos de capacidad emulsionante de alrededor de 0.024 - 0.033 (se reportaron en el estudio en porcentaje), los índices obtenidos de las harinas fueron menores y se debe a los tratamientos térmicos en cocción y secado (Ahmed *et al.*, 2011). Ahora el aumento significativo en la actividad emulsionante de los hidrolizados se debe a que la estructura de la proteína se modificó y los aminoácidos hidrofóbicos quedaron más expuestos, hubo mayor interacción de estos aminoácidos con la fase oleosa y de esta manera pudieron dispersar la fase oleosa en el medio acuoso con mayor eficiencia.



**Gráfico 10.** El índice de actividad emulsionante en las harinas e hidrolizados de proteína. Letras iguales en las legumbres significa que no hay diferencia significativa ( $p > 0.05$ ).



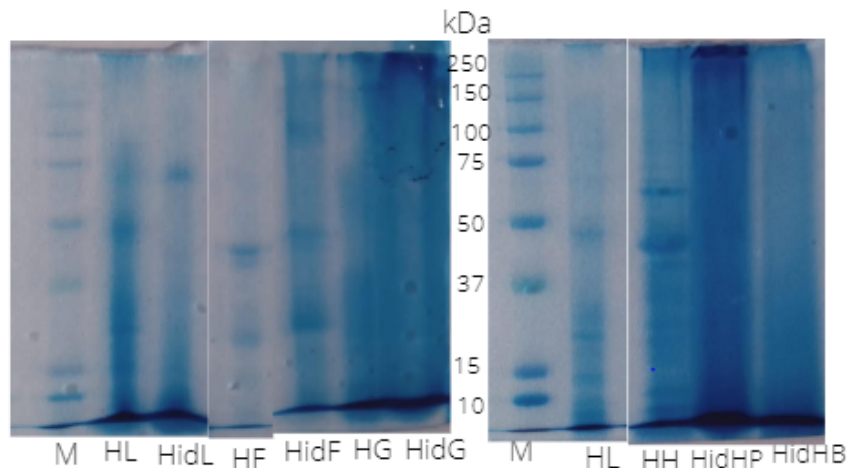
En cuanto a la capacidad de espumado que presentaron las harinas, es similar a lo reportado en la literatura, aproximadamente 20 % o menos (Ahmed *et al.*, 2011). La capacidad de espumado depende de la solubilidad de las proteínas y de su capacidad para difundir y concentrarse en la interfase aire-agua (Aguilera, 2009).



**Gráfico 11.** capacidad de espumado en ls harinas e hidrolizados de proteína. Letras iguales en las legumbres significa que no hay diferencia significativa (p>0.05).

En los hidrolizados se obtuvo un aumento significativo de esta capacidad, tal como se esperaba. Esto es debido a que la cantidad de proteína soluble aumentó, como previamente se observó en los gráficos 2 y 3. La capacidad espumante aumentó con el incremento de la concentración de proteína soluble, además al incrementar las cargas por la hidrólisis y modificarse las estructuras de las proteínas, se aumentó la flexibilidad de éstas (Ahmed *et al.*, 2011).

## Electroforesis

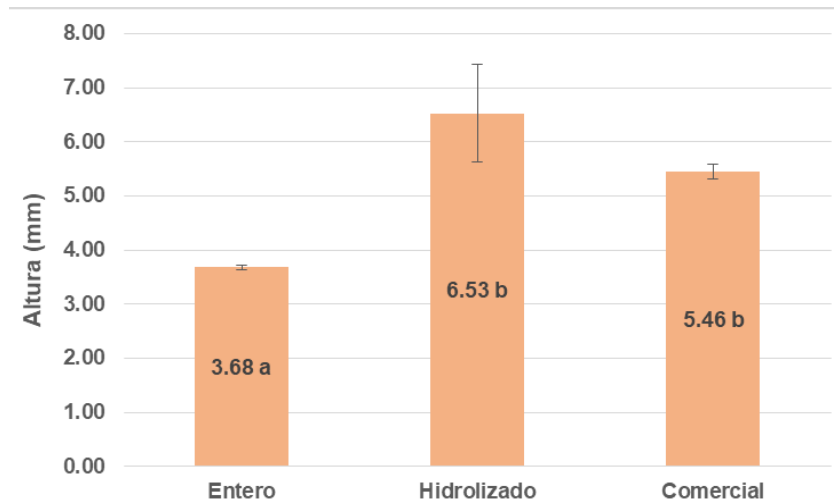


**Figura 3.** Electroforesis donde: M es el marcador, HL harina de lenteja, HidL hidrolizado de lenteja por punta sónica, HF harina de frijol, HidF hidrolizado de frijol por punta sónica, HG harina de garbanzo, HidG hidrolizado de garbanzo por punta sónica, HH harina de haba, HidHP hidrolizado de haba por punta sónica, HidHB hidrolizado de haba por baño sónico.

En la figura 3, se observa la diferencia en la composición de las harinas, entre las harinas y los hidrolizados. En las harinas se observan bandas que aparecen desde una mayor masa molecular alrededor de los 50 kDa para las proteínas (Sarmiento, 2012). Sin embargo, en los hidrolizados, las bandas se observaron menos definidas. Por ejemplo, en donde se puede notar mejor es en la harina de frijol (HF) y el hidrolizado de frijol (HidF); en la harina se alcanzaron a observar bandas definidas en el gel, mientras que para el hidrolizado de frijol no hubo tal separación por el desplazamiento de las proteínas. Para la harina de frijol la banda más definida que se obtuvo fue dentro 48 kDa aproximadamente, dato que se encuentra dentro del intervalo reportado en la bibliografía que es aproximadamente de 43 a 62 kDa (Ruiz *et al.*, 2001). O para el caso del garbanzo, donde no se observaron bandas definidas para la harina, ni para el hidrolizado, por lo que no se pudo comparar los resultados para esta legumbre. Sin embargo, se tiene reportado en la literatura que las proteínas de garbanzo sin hidrolizar tienen en promedio una masa molecular de 29 a 39 kDa (Takács *et al.*, 2014). Para el caso del haba, se observaron algunas bandas alrededor de la masa molecular 50 kDa y 37 kDa (Sarmiento, 2012), sin embargo, en el caso de los hidrolizados no hubo tal definición de bandas en ninguna masa molecular. Para el haba se han tenido reportes de bandas en un intervalo de 41 a 70 kDa (Mohamed *et al.*, 2016), por lo que los resultados obtenidos concuerdan. Para el caso de la lenteja se obtuvo para su harina, línea definida por los 50 kDa de masa molecular y para su hidrolizado no se obtuvieron bandas

definidas. La masa molecular obtenida corresponde con el promedio reportado de 44 a 49 kDa (Takács *et al.*, 2014).

### Propiedades de los *Hotcakes*



**Gráfico 12.** Altura del *hotcake* promedio la formulación original (Entero), la formulación con el hidrolizado y la formulación comercial. Letras iguales en las formulaciones significa que no hay diferencia significativa ( $p > 0.05$ ).

De acuerdo con lo observado en el gráfico 12, la altura promedio del *hotcake* con hidrolizado aumentó de manera significativa a comparación con el *hotcake* elaborado con la formulación original, por lo que las propiedades funcionales del hidrolizado afectan en la textura final y apariencia del producto final. Por otra parte, se observa en el gráfico 12, que la altura del *hotcake* con hidrolizado y del *hotcake* comercial no tuvo diferencia significativa. De esta manera se confirma que, tal como fue observado, las propiedades funcionales de capacidad de formación de espuma y capacidad emulsionante aumentaron significativamente, y esto se ve reflejado en el producto final. Esto ayuda a que se pueda considerar a los hidrolizados como ingredientes funcionales en la industria, aumentando el valor de los productos al mejorar sus características y contenido nutricional (Chaparro *et al.*, 2014).

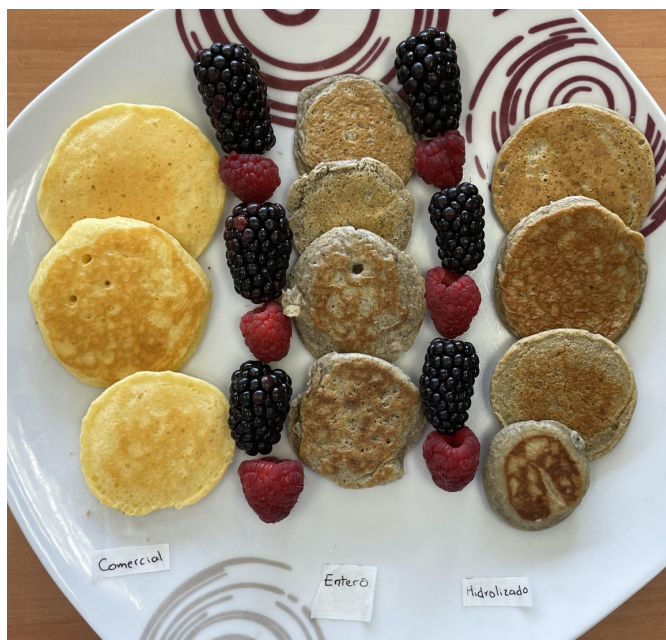
Otra característica que los hidrolizados mejoraron en los *hotcakes* es la apariencia general del producto final. Se puede observar en la figura 4 que al momento de cocinarse los *hotcakes*, se diferencian en su superficie. La superficie de los *hotcakes* con los hidrolizados era lisa y más homogénea, mientras que en los *hotcakes* elaborados con las harinas se tenía una superficie rugosa con poros notables. Otra diferencia en la apariencia, se nota en los bordes, mientras que los bordes del *hotcake* con hidrolizados estaban bien formados, delimitados y con una

circunferencia uniforme, el *hotcake* con la harina de frijol y lenteja presentó bordes irregulares y con una forma no específica, como se aprecia en la figura 4.



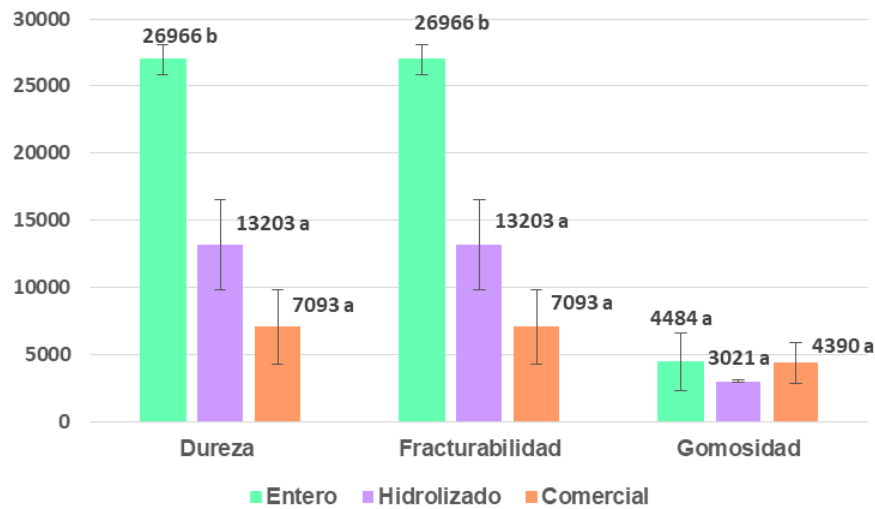
**Figura 4.** Imágenes de los *hotcakes* en la parrilla. Formulación con harina de frijol y lenteja (izquierda), formulación con los hidrolizados (derecha).

Cuando los *hotcakes* estaban hechos, se evaluaron las diferencias estéticas entre los productos finales de las tres formulaciones. Se pueden apreciar las diferencias en la figura 5. En color, el comercial es claramente distinto. Los *hotcakes* con las harinas de frijol y lenteja (en medio), presentaron formas irregulares, poros, superficies irregulares y bordes heterogéneos. Por otro lado, los *hotcakes* con los hidrolizados presentaron circunferencias definidas, bordes homogéneos, superficie lisa, al igual que los *hotcakes* comerciales.



**Figura 5.** Imágenes de los *hotcakes* hechos con la formulación comercial (izquierda), la formulación con la harina de frijol y lenteja (en medio) y la formulación con los hidrolizados (derecha).

## TPA de los hotcakes



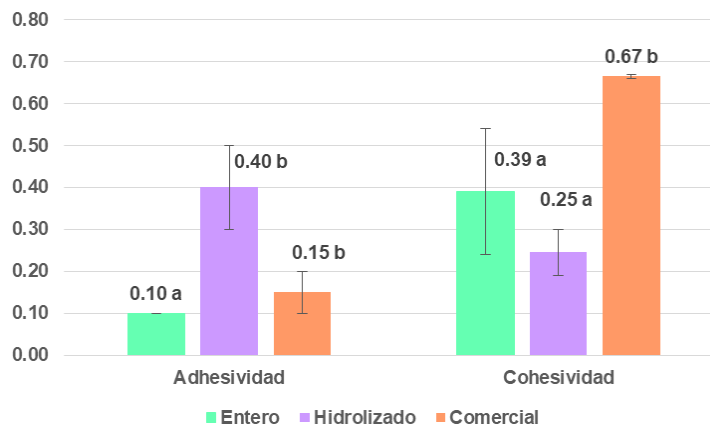
**Gráfico 13.** Resultados del TPA de dureza, fracturabilidad y gomosisidad. Letras iguales en las formulaciones significa que no hay diferencia significativa ( $p > 0.05$ ).

Como se observa en el gráfico 13, en cuanto a la dureza y fracturabilidad de los *hotcakes* realizados con las tres formulaciones, la que contiene los hidrolizados y la comercial no presentan diferencias significativas, mientras que la formulación con las harinas es significativamente distinta. De esta manera se observa que el hidrolizado redujo significativamente la dureza y fracturabilidad de los *hotcakes*, y los volvió similares estadísticamente a los comerciales. La dureza y fracturabilidad se refieren al esfuerzo o fuerza que debe ser aplicado a un alimento para que este se desmorone o cruja (Hleap *et al.*, 2010). Por otro lado, la gomosisidad de los *hotcakes* de las tres formulaciones, no presentó diferencias significativas entre ninguna de sus formulaciones. Estos valores de gomosisidad resultaron ser mayores a los reportados por Islas *et al* en 2014, que realizaron un TPA a *hotcakes* con harina de arroz y amaranto con un control de harina de trigo, los valores reportados fueron de 2300 mN para el control con harina de trigo y 2600 mN, mientras que los obtenidos en este estudio fueron de 3021 mN para el *hotcake* con hidrolizado, 4484 mN para el *hotcake* con las harinas de frijol y lenteja, y de 4390 mN para el *hotcake* comercial.

Por otra parte, la adhesividad aumentó con hidrolizados, como se aprecia en el gráfico 14, el *hotcake* con los hidrolizados aumentó significativamente la adhesividad en comparación con el *hotcake* con las harinas de frijol y lenteja. Mientras que el *hotcake* elaborado con los hidrolizados, de nuevo no presentó diferencias significativas con el *hotcake* comercial. La adhesividad se refiere a la fuerza que se debe aplicar para despegar del paladar el alimento antes de ser deglutido, los valores negativos indican que son más adhesivos (Hleap *et al.*, 2012 ; Carrera *et al.*, 2019). Al aumentar estos valores con el hidrolizado, significa que se

debe ejercer una menor fuerza para despegar los *hotcakes* del paladar que es lo que se requiere para este producto.

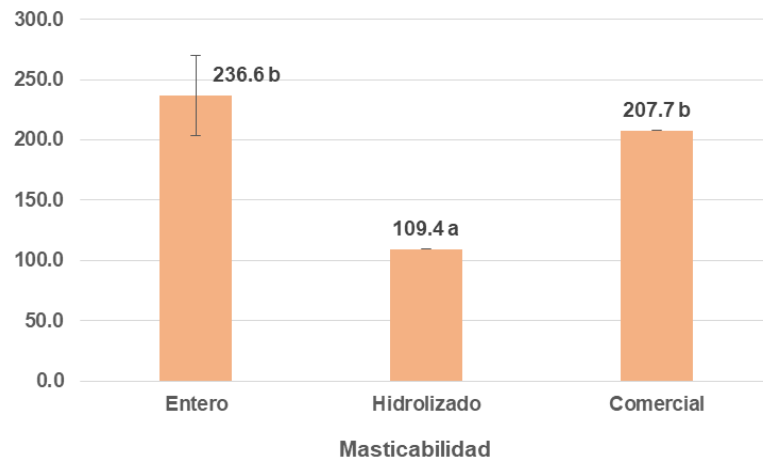
En cuanto a la cohesividad, se puede observar en el gráfico 14 que la cohesividad de ambos *hotcakes* con los hidrolizados y las harinas de legumbres, presentan diferencias significativas con la del producto comercial. Mientras que entre los *hotcakes* con las harinas de legumbres y los hidrolizados no presentan diferencias significativas con el comercial. Por lo que, para el caso de la cohesividad, los hidrolizados no tienen influencia.



**Gráfico 14.** Resultados del TPA de adhesividad y gomosis. Letras iguales en las formulaciones significa que no hay diferencia significativa ( $p > 0.05$ ).

En cuanto a la masticabilidad, como se observa en el gráfico 15, no existió diferencia significativa entre los *hotcakes* con harinas de legumbres y comercial, en cambio entre éstos y el *hotcake* con los hidrolizados si hubo una diferencia significativa. La masticabilidad está relacionada con el trabajo o fuerza necesaria para despegar de una superficie un alimento y para desintegrarlo para que posteriormente sea deglutido (Carrera *et al.*, 2019). Esto significa que las proteínas disponibles de los hidrolizados disminuyeron significativamente el trabajo requerido para deglutir el *hotcake*, por lo que es más fácil de comer incluso que el comercial.

En el estudio desarrollado por Carrera *et al* en el 2019, donde hicieron un *hotcake* con base de yuca y otro con harina de trigo, obtuvieron como valor de la masticabilidad de 2631.05 para el de trigo y de 795.07 para el que estaba hecho con yuca, mientras que en este estudio se obtuvieron valores más bajos de 236.6 para el *hotcake* con la harina, de 109.4 para el *hotcake* con hidrolizado y de 207.7 para el comercial. Esto puede variar por el método y tiempo de cocción, así como por las formulaciones utilizadas.



**Gráfico 15.** Resultados del TPA de masticabilidad. Letras iguales en las formulaciones significa que no hay diferencia significativa ( $p > 0.05$ ).

## CONCLUSIONES

Se logró hidrolizar las proteínas de todas las legumbres utilizadas, con la punta sónica y se mejoraron propiedades funcionales de éstas como la actividad emulsionante, la capacidad de espumado, la capacidad de retención de agua y la solubilidad. En el caso del baño sónico, al no estar en contacto directo no se logró hidrolizar las proteínas de lenteja, frijol y garbanzo, pero sí las del haba. Sin embargo, no hubo diferencia significativa en las propiedades funcionales del hidrolizado de haba obtenido con el baño respecto al hidrolizado obtenido con la punta. En algunos casos, las propiedades del hidrolizado de haba con punta fueron mejores. Por lo que se concluye que para la hidrólisis de proteínas de estas 4 legumbres, la punta sónica es más eficiente. Además, los hidrolizados mejoran la textura y características finales de los *hotcakes*.

## PERSPECTIVAS

- Para conseguir proteína soluble con mayor pureza, se debe obtener aislados de proteínas de legumbres, a partir de los hidrolizados en polvo.
- Para demostrar experimentalmente que la biodisponibilidad de las proteínas aumentó, se debe realizar el método de Bradford con los *hotcakes*, con harinas de legumbres y con los hidrolizados.
- Realizar un análisis de tamaño de partícula para los hidrolizados secos obtenidos para comparar con los aislados.



## Bibliografía:

- Aguilera Gutiérrez, Y. 2009. *Harinas de leguminosas deshidratadas: caracterización nutricional y valoración de sus propiedades tecnofuncionales*. Tesis doctoral. Universidad Autónoma de Madrid. Facultad de Ciencias.
- Ahmed, S. H., Ahmed, I. A. M., Eltayeb, M. M., Ahmed, S. O., Babiker, E. E. 2011. Functional properties of selected legumes flour as influenced by pH. *Journal of Agricultural Technology*, 7(5), 1291-1302.
- Anaya-López, J. L., Ibarra-Pérez, F. J., Rodríguez-Cota, F. G., Ortega-Murrieta, P. F., Acosta-Gallegos, J. A., Chiquito-Almanza, E. 2021. Leguminosas de grano en México: variedades mejoradas de frijol y garbanzo desarrolladas por el INIFAP. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (25), 63-75.
- Antonic, B., Dordevic, D., Jancikova, S., Tremlova, B., Nejezchlebova, M., Goldová, K., Treml, J. 2021. Reused plant fried oil: A case study with home-made soaps. *Processes*. 9(3), 529.
- Barajas, J. Moncada, D. Aguilar, V. Castro R. 2018. Evolución de la textura y absorción de agua en frijol azufrado sometido a diferentes tiempos de remojo y cocción. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*. Vol. 3 35-40
- Bio-Rad Laboratories Inc. 2005. Quick Start Bradford Protein Assay: Instruction manual. Disponible en : <https://www.bio-rad.com/webroot/web/pdf/lsr/literature/4110065A.pdf> [Último acceso 9 de noviembre de 2022]
- Benítez, R., Ibarz, A., Pagan, J. 2008. Hidrolizados de proteína: procesos y aplicaciones. *Acta bioquímica clínica latinoamericana*, 42(2), 227-236.
- Blaise, K., Nicolas, N. Y., Clémence, B., Richard, K. 2017. Influence of spray-drying temperature on physicochemical and functional properties of protein isolates of three leguminous plants (*Canavalia ensiformis*, *Vigna unguiculata* and *Glycine max*) from Cameroon. *Cogent Chemistry*, 3(1), 1388140.
- Carrera, Y., Franco, E., Quintero, R. I. 2019. Desarrollo y caracterización de panquecas a base de harina de trigo (*Triticum*) y harina de yuca (*Manihot esculenta*). *Revista de I+ D Tecnológico*, 15(1), 24-29.
- Chaparro, S. P., Tavera, M. L., Martínez, J. J., Gil, J. H. 2014. Propiedades funcionales de la harina y de los aislados proteicos de la semilla de guanábana (*Annona muricata*). *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 17(1), 151-159.

- Chen, W., Chiu, H. T., Feng, Z., Maes, E., Serventi, L. 2021. Effect of spray-drying and freeze-drying on the composition, physical properties, and sensory quality of pea processing water (*Liluva*). *Foods*, 10(6), 1401.
- Chimborazo Carrillo, M. M. 2015. *Elaboración de una masa de harinas trigo-arroz laminada de humedad intermedia para alimentos gourmet*. Tesis de ingeniería. Universidad Politécnica Nacional. Quito.
- Compton, S. J., Jones, C. G. (1985). Mechanism of dye response and interference in the Bradford protein assay. *Analytical biochemistry*, 151(2), 369-374.
- Cruz, S. 2020. Evaluación tecno-funcional y sensorial de batidos cárnicos cocidos incorporando concentrados de proteínas de grillo (*Acheta domesticus*) extraídos mediante el uso de ultrasonido. Tesis de Especialista en Biotecnología. Universidad Autónoma Metropolitana. (UAM) Iztapalapa.
- Di Blasi, J. I. P., Torres, J. M., Antonio, J. S. P., Comesaña, C. I., Cuesta, L. 2014. Desarrollo de una aplicación para la comparación rápida de pigmentos a partir de sus coordenadas colorimétricas. *DYNA: revista de la Facultad de Minas. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín*, 81(184), 49-54.
- Erbersdobler, H. F., Barth, C. A., Jahreis, G. 2017. Legumes in human nutrition. Nutrient content and protein quality of pulses. *Ernahrungs Umschau*, 64(9), 134-139.
- Fabela, M. 2017. Secado por Aspersión. **En:** H. Espinosa y E. García eds. *Tecnologías de Nano/Microencapsulación de Compuestos Bioactivos*. Jalisco: Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. (607-97548), 189-198.
- Fadimu, G. J., Farahnaky, A., Gill, H., Truong, T. 2022. Influence of ultrasonic pretreatment on structural properties and biological activities of lupin protein hydrolysate. *International Journal of Food Science & Technology*, 57(3), 1729-1738.
- FAOSTAT. 2022. Comercio. Cultivos y productos de ganadería. [Actualizado al 26 de abril de 2022] Disponible en: <https://www.fao.org/faostat/es/#data/TCL> .[Último acceso el 7 de noviembre de 2022]
- Flores, V., Chuck, C., De la Rosa, J., Orona, J., Rodríguez, W., Salinas, A. 2016. Rendimiento de extracción de proteína y algunos análisis funcionales de concentrados y aislados de lenteja, haba y garbanzo producidos en una planta piloto. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*. Monterrey: CIDPRO.
- Granville, M. 2002. *Guía para entender la comunicación del color*. X-Rite.[En línea][Actualizado al 2002] Disponible en: [https://www.xrite.com/-/media/xrite/files/whitepaper\\_pdfs/l10-001\\_a\\_guide\\_to\\_underst](https://www.xrite.com/-/media/xrite/files/whitepaper_pdfs/l10-001_a_guide_to_underst)

[anding\\_color\\_communication/l10-001\\_understand\\_color\\_es.pdf](#) [Último acceso el 23 de septiembre de 2022]

- Guerrero, L. A. C., Ríos, L. C., Ancona, D. A. B. 2003. Estructura y propiedades funcionales de proteínas de leguminosas. *Revista de la Universidad Autónoma de Yucatán*, 227, 34-43.
- Hleap, J. I., Velasco, V. A. 2010. Análisis de las propiedades de textura durante el almacenamiento de salchichas elaboradas a partir de tilapia roja (*Oreochromis sp.*). *Biotecnología en el Sector agropecuario y agroindustrial*, 8(2), 46-56.
- Islas Hernández, J. J., Pachecho Vargas, G., Osorio Díaz, P., Bello Pérez, L. A. 2014. Análisis de textura y evaluación sensorial de hot cakes sin gluten. In *XIX Congreso Nacional de Ingeniería Bioquímica*.
- Jeong, M. S., Lee, S. D., Cho, S. J. 2021. Effect of three defatting solvents on the techno-functional properties of an edible insect (*Gryllus bimaculatus*) protein concentrate. *Molecules*, 26(17), 5307.
- Khazaei, H., Subedi, M., Nickerson, M., Martínez-Villaluenga, C., Frias, J., Vandenberg, A. 2019. Seed protein of lentils: Current status, progress, and food applications. *Foods*, 8(9), 391.
- Keskin, S. O., Ali, T. M., Ahmed, J., Shaikh, M., Siddiq, M., & Uebersax, M. A. 2022. Physico-chemical and functional properties of legume protein, starch, and dietary fiber—A review. *Legume Science*, 4(1), e117.
- Kim, T. K., Yong, H. I., Kang, M. C., Jung, S., Jang, H. W., Choi, Y. S. 2021. Effects of high hydrostatic pressure on technical functional properties of edible insect protein. *Food Science of Animal Resources*, 41(2), 185.
- Laemmli, U. 1970. Cleavage of Structural Proteins during the Assembly of the Head of Bacteriophage T4. *Nature* 227, 680–685
- Margier, M., Georgé, S., Hafnaoui, N., Remond, D., Nowicki, M., Du Chaffaut, L., ... Reboul, E. 2018. Nutritional composition and bioactive content of legumes: Characterization of pulses frequently consumed in France and effect of the cooking method. *Nutrients*, 10(11), 1668.
- Mohamed, H. I., Elsherbiny, E. A., Abdelhamid, M. T. 2016. Physiological and biochemical responses of *Vicia faba* plants to foliar application with zinc and iron. *Gesunde Pflanzen*, 68(4), 201-212.
- Nascentes, C. C., Korn, M., Sousa, C. S., & Arruda, M. A. (2001). Use of ultrasonic baths for analytical applications: a new approach for optimisation conditions. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, 12, 57-63.

- Onyango, E. 2022. Legume Protein: Properties and Extraction for Food Applications. In *Legumes Research-Volume 2*. IntechOpen.
- Otegui, I., Fernández-Quintela, A., Diego, A. D., Cid, C., Macarulla, M. T., Partearroyo, M. A. 1997. Properties of spray-dried and freeze-dried faba bean protein concentrates. *International journal of food science & technology*, 32(6), 439-443.
- Ozuna, C., Paniagua-Martínez, I., Castaño-Tostado, E., Ozimek, L. Amaya-Llano, S. L. 2015. Innovative applications of high-intensity ultrasound in the development of functional food ingredients: Production of protein hydrolysates and bioactive peptides. *Food Research International*, 77, 685-696.
- Papandreou, C., Becerra-Tomás, N., Bulló, M., Martínez-González, M. Á., Corella, D., Estruch, R. Salas-Salvadó, J. 2019. Legume consumption and risk of all-cause, cardiovascular, and cancer mortality in the PREDIMED study. *Clinical Nutrition*, 38(1), 348-356.
- Pasqualone, A., Costantini, M., Coldea, T. E., Summo, C. 2020. Use of legumes in extrusion cooking: A review. *Foods*, 9(7), 958.
- Polak, R., Phillips, E. M., Campbell, A. 2015. Legumes: health benefits and culinary approaches to increase intake. *Clinical Diabetes*, 33(4), 198-205.
- Punia, S., Dhull, S. B., Sandhu, K. S., Kaur, M. 2019. Faba bean (*Vicia faba*) starch: Structure, properties, and in vitro digestibility—A review. *Legume Science*, 1(1), e18.
- Ruiz Guerrero, R. M., Ortiz García, R., Álvarez Martínez, P. 2001. Dry bean cultivar characterisation by isoelectric focusing electrophoresis in polyacrylamide gel. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 81(11), 1126-1131.
- Sangronis, E., Machado, C., Cava, R. 2004. Propiedades funcionales de las harinas de leguminosas (*Phaseolus vulgaris* y *Cajan cajan*) germinadas. *Interciencia*, 29(2), 80-85.
- Sarmiento, T. 2012. *Impacto del Procesamiento sobre la pared celular y las propiedades hipoglucémicas y tecnofuncionales de leguminosas*. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid. Madrid.
- Sayed-Ahmed, E. T. A., Salah, K. B. H., El-Mekkawy, R. M., Rabie, N. A., Ashkan, M. F., Alamoudi, S. A., Namir, M. 2022. The Preservative Action of Protein Hydrolysates from Legume Seed Waste on Fresh Meat Steak at 4° C: Limiting Unwanted Microbial and Chemical Fluctuations. *Polymers*, 14(15), 3188.
- Silva-Cristobal, L., Osorio-Díaz, P., Bello-Pérez, L. A. 2007. Digestibilidad del almidón en haba (*Vicia faba* L.). *Agrociencia*, 41(8), 845-852.

- Silva, J. 2015. *Análisis micro topográfico de la superficie radicular, en relación al grado de rugosidad de su superficie después del uso de tres tipos de scaler sónicos y ultrasónicos, observados mediante microscopio electrónico de barrido/estudio in vitro*. Tesis para especialización en periodoncia. Universidad San Francisco de Quito. Colegio de Posgrados. Ecuador.
- Statista. 2022. Consumo anual per cápita de algunos vegetales y legumbres en México en 2020, por tipo(en kilogramos). Disponible en: <https://es.statista.com/estadisticas/645537/consumo-per-capita-de-los-principales-vegetales-legumbres-en-mexico/> [Último acceso 16 de noviembre de 2022]
- Suárez López, M. M., Kizlansky, A., López, L. B. 2006. Evaluación de la calidad de las proteínas en los alimentos calculando el score de aminoácidos corregido por digestibilidad. *Nutrición hospitalaria*, 21(1), 47-51.
- UCSF Computer Graphics Laboratory. 2018. Amino Acid Hydrophobicity. Disponible en: <https://www.cgl.ucsf.edu/chimera/docs/UsersGuide/midas/hydrophob.html>. [Último acceso 27 de julio de 2023]
- Takács, K., Guillamon, E., Pedrosa, M. M., Cuadrado, C., Burbano, C., Muzquiz, M., Gelencsér, É. 2014. Study of the effect of instant controlled pressure drop (DIC) treatment on IgE-reactive legume-protein patterns by electrophoresis and immunoblot. *Food and Agricultural Immunology*, 25(2), 173-185.
- Tobar Bächler, S. 2018. Innovación en legumbres. *Revista chilena de nutrición*, 45, 50-53.
- Torres, J. D., González-Morelo, K., Acevedo, D. 2015. Análisis del perfil de textura en frutas, productos cárnicos y quesos. *Revista RECITEIA: Revisiones de la Ciencia, Tecnología e Ingeniería de los Alimentos*, 14(2), 63-75.
- Valencia-Avilés, E., Ignacio-Figueroa, I., Sosa-Martínez, E., Bartolomé-Camacho, M. C., Martínez-Flores, H. E. García-Pérez, M. E. 2017. Polifenoles: propiedades antioxidantes y toxicológicas. *Revista de la Facultad de Ciencias Químicas*, (16), 15-29.
- Velázquez, M. 2019. *Estandarización de la Cocción y Deshidratación de Harinas para suplementos*. Tesis Licenciatura. Facultad de Química. UNAM.
- Vergara, G. 2016. *Nuevos usos de las legumbres y su implicación en la salud*. Tesis. Facultad de Farmacia. Universidad Complutense. España.
- Vijayakumar, P. P., Adedeji, A. 2017. Measuring the pH of food products. *University of Kentucky: Lexington, KY, USA*.
- Vijigiri, V., Pamidi, T. R. K. 2014. Ultrasound induced cavitation and resonance amplification using adaptive feedback Control System. *M. Thesis, September*.

- Wani, I. A., Sogi, D. S., Shivhare, U. S., Gill, B. S. 2015. Physico-chemical and functional properties of native and hydrolyzed kidney bean (*Phaseolus vulgaris* L.) protein isolates. *Food Research International*, 76, 11-18.
- Xu, Y., Thomas, M., Bhardwaj, H. L. 2014. Chemical composition, functional properties and microstructural characteristics of three *kabuli* chickpea (*Cicer arietinum* L.) as affected by different cooking methods. *International journal of food science & technology*, 49(4), 1215-1223.
- Zambrano, M. V., Dutta, B., Mercer, D. G., MacLean, H. L., Touchie, M. F. (2019). Assessment of moisture content measurement methods of dried food products in small-scale operations in developing countries: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 88, 484-496.
- Zorica Nikolic, Dorpevic V., Torbica A., Aleksandar M. 2012. Legumes seed storage proteins characterization by SDS-PAGE and Lab-on-a-Chip. Electrophoresis. *Journal of Food Composition and Analysis*. 28,75–80

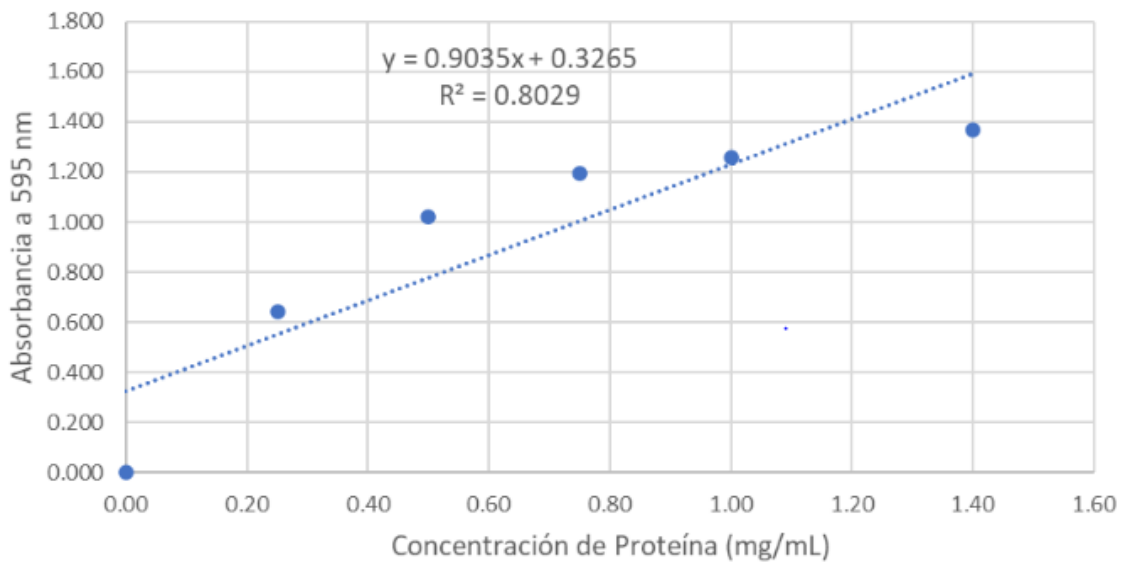
## ANEXOS

### Índice

Figura 1. Obtención de harinas	49
Gráfico 1. Curva patrón del método de Bradford	49
Figura 2. Análisis de varianza de proteína soluble de lenteja	50
Figura 3. Análisis de varianza de proteína soluble de frijol	50
Figura 4. Análisis de varianza de proteína soluble de garbanzo	50
Figura 5. Análisis de varianza de proteína soluble de haba	50
Figura 6. Ejemplo de determinación de porcentaje de humedad	51
Figura 7. Medidor del Aw	51
Figura 8. Medición del Aw	51
Figura 9. Análisis de varianza de dureza TPA <i>hotcakes</i>	51
Figura 10. Análisis de varianza de adhesividad TPA <i>hotcakes</i>	52
Figura 11. Análisis de varianza de fracturabilidad TPA <i>hotcakes</i>	52
Figura 12. Análisis de varianza de cohesividad TPA <i>hotcakes</i>	52
Figura 13. Análisis de varianza de gomosidad TPA <i>hotcakes</i>	52
Figura 14. Análisis de varianza de masticabilidad TPA <i>hotcakes</i>	52
Figura 15. Cartel de congreso	53
Figura 16. Constancia de participación del congreso	54



**Figura 1.** btención de harina de garbanzo. a) Inspección de los granos. b)Remojo del garbanzo. c)Cocción del garbanzo. d) Secado del garbanzo. e)Producto final harina de garbanzo.



**Gráfico 1.** Curva patrón del Método de Bradford



Análisis de la varianza:

Fuente	GDL	Suma de los cuadrados	Media de los cuadrados	F	Pr > F
Modelo	12	27,010	2,251	10,032	0,000
Error	13	2,917	0,224		
Total corregido	25	29,927			

*Calculado contra el modelo  $Y=Media(Y)$*

**Figura 2.** Análisis de varianza de la cuantificación de proteína soluble de lenteja.

Análisis de la varianza:

Fuente	GDL	Suma de los cuadrados	Media de los cuadrados	F	Pr > F
Modelo	12	45,050	3,754	34,043	< 0.0001
Error	13	1,434	0,110		
Total corregido	25	46,484			

*Calculado contra el modelo  $Y=Media(Y)$*

**Figura 3.** Análisis de varianza de la cuantificación de proteína soluble de frijol.

Análisis de la varianza:

Fuente	GDL	Suma de los cuadrados	Media de los cuadrados	F	Pr > F
Modelo	12	81,078	6,756	64,225	< 0.0001
Error	13	1,368	0,105		
Total corregido	25	82,445			

*Calculado contra el modelo  $Y=Media(Y)$*

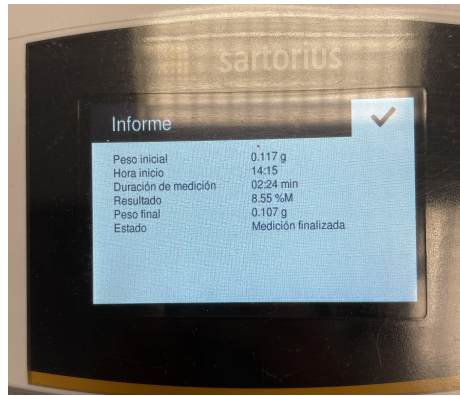
**Figura 4.** Análisis de varianza de la cuantificación de proteína soluble de garbanzo.

Análisis de la varianza:

Fuente	GDL	Suma de los cuadrados	Media de los cuadrados	F	Pr > F
Modelo	12	24,584	2,049	32,772	< 0.0001
Error	13	0,813	0,063		
Total corregido	25	25,397			

*Calculado contra el modelo  $Y=Media(Y)$*

**Figura 5.** Análisis de varianza de la cuantificación de proteína soluble de haba.



**Figura 6.** Imagen de un ejemplo de una determinación del porcentaje de humedad en la termobalanza.



**Figura 7 y 8.** Imagen del medidor de la actividad de agua y de un ejemplo de una medición de *aw*.

Análisis de la varianza (Variable Dureza):

Fuente	GDL	Suma de los cuadrados	Media de los cuadrados	F	Pr > F
Modelo	2	414458932,000	207229466,000	15,162	0,027
Error	3	41001844,000	13667281,333		
Total corregido	5	455460776,000			

Calculado contra el modelo  $Y=Media(Y)$

**Figura 9.** Análisis de varianza de los valores de TPA de dureza de las tres formulaciones de hotcakes.

Análisis de la varianza (Variable Adhesividad):

Fuente	GDL	Suma de los cuadrados	Media de los cuadrados	F	Pr > F
Modelo	2	0,103	0,052	6,200	0,086
Error	3	0,025	0,008		
Total corregido	5	0,128			

Calculado contra el modelo  $Y=Media(Y)$

**Figura 10.** Análisis de varianza de los valores de TPA de adhesividad de las tres formulaciones de hotcakes.

Análisis de la varianza (Variable Fracturabilidad):

Fuente	GDL	Suma de los cuadrados	Media de los cuadrados	F	Pr > F
Modelo	2	414458932,000	207229466,000	15,162	0,027
Error	3	41001844,000	13667281,333		
Total corregido	5	455460776,000			

Calculado contra el modelo  $Y=Media(Y)$

**Figura 11.** Análisis de varianza de los valores de TPA de fracturabilidad de las tres formulaciones de hotcakes.

Análisis de la varianza (Variable Cohesividad):

Fuente	GDL	Suma de los cuadrados	Media de los cuadrados	F	Pr > F
Modelo	2	0,182	0,091	5,343	0,103
Error	3	0,051	0,017		
Total corregido	5	0,233			

Calculado contra el modelo  $Y=Media(Y)$

**Figura 12.** Análisis de varianza de los valores de TPA de cohesividad de las tres formulaciones de hotcakes.

Análisis de la varianza (Variable Gomosidad):

Fuente	GDL	Suma de los cuadrados	Media de los cuadrados	F	Pr > F
Modelo	2	2682244,000	1341122,000	0,284	0,771
Error	3	14149869,500	4716623,167		
Total corregido	5	16832113,500			

Calculado contra el modelo  $Y=Media(Y)$

**Figura 13.** Análisis de varianza de los valores de TPA de gomosidad de las tres formulaciones de hotcakes.

Análisis de la varianza (Variable Masticabilidad):

Fuente	GDL	Suma de los cuadrados	Media de los cuadrados	F	Pr > F
Modelo	2	17774,890	8887,445	12,131	0,037
Error	3	2197,845	732,615		
Total corregido	5	19972,735			

Calculado contra el modelo  $Y=Media(Y)$

**Figura 14.** Análisis de varianza de los valores de TPA de masticabilidad de las tres formulaciones de hotcakes.

**ICAT**  
Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología

# Evaluación tecno funcional y aplicación de hidrolizados de frijol, garbanzo, haba y lenteja

Ara Lucía Ramírez Funes, María Soledad Córdova Aguilar, Joselina Martínez Arriola

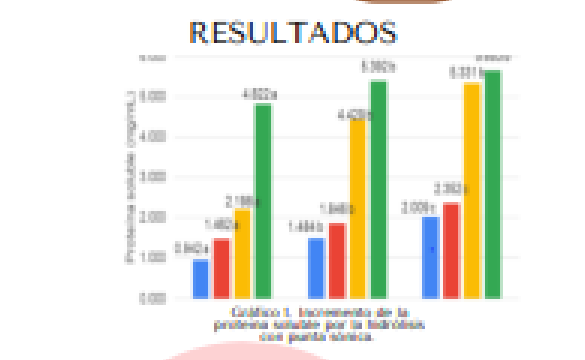
Instituto de Ciencias Aplicadas y Tecnología, Universidad Autónoma de México, Circuito Exterior s/n, Coyoacán, Ciudad Universitaria, 04530, Ciudad de México, México.

[joselina.martinez@icatanam.mx](mailto:joselina.martinez@icatanam.mx)

## INTRODUCCIÓN

La tendencia de la ciencia de los alimentos está alineada al desarrollo de nuevos productos que sean más saludables, que tengan alto valor biológico y efecto nutraceutico.

Por lo que se propone un proceso de obtención de hidrolizados de harinas de legumbres, en este caso usando frijol, lenteja, garbanzo y haba. Por medio de ultrasonido con la finalidad de obtener mayor cantidad de proteína soluble.



## REFERENCIAS

López Colunga Y. 2005. Harinas de leguminosas deshidratadas: características nutricionales y valor nutritivo de sus productos. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de México, Facultad de Ciencias. 2. Arriola J., Domínguez D., Jiménez S., Trujillo B., Aguilar M., Trujillo S. 2010. Efecto de la hidrólisis con punta sónica y baño sónico en la solubilidad de proteínas. *Procesos*, 4(2): 120-125.

Elizaga J., Morales D., Aguilar V., Castro B. 2008. Efectos de la textura y el tamaño de las partículas de harina de leguminosas en la digestión y absorción de nutrientes en el tracto gastrointestinal. *Revista de Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(1): 1-10.

Arriola J., Ruiz A., Pagan J. 2008. Hidrolizados de proteína proteica y su efecto en la digestión y absorción de nutrientes. *Revista de Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(1): 1-10.

Elizaga J., Morales D., Aguilar V., Castro B. 2007. Influencia de la hidrólisis con punta sónica y baño sónico en la solubilidad de proteínas de harina de leguminosas. *Actas del Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería*, 1(1): 1-10.

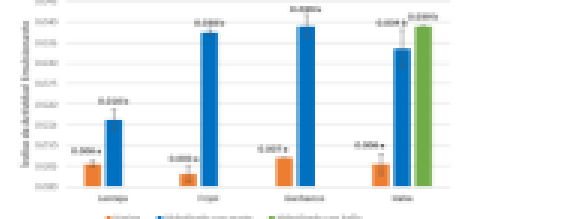


Tabla 2. El índice de actividad emulsionante (IAE) en las harinas e hidrolizados de proteína. Letras iguales en las legumbres significa que no hay diferencia significativa ( $p < 0.05$ ).

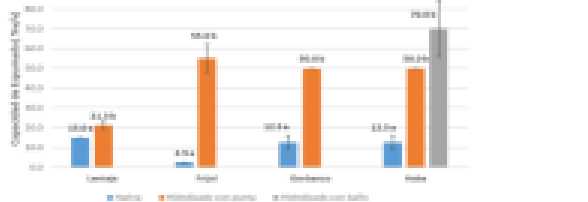


Tabla 3. Capacidad de espumado en las harinas e hidrolizados de proteína. Letras iguales en las legumbres significa que no hay diferencia significativa ( $p < 0.05$ ).



Figura 1. Comparación de Hotcake hecho con harina comercial (izquierda), con harina de legumbres (en medio), y con hidrolizados (derecha).

## CONCLUSIONES

Se logró hidrolizar las proteínas de todas las legumbres empleadas, con la punta sónica y se mejoraron propiedades funcionales de estas como la actividad emulsionante, la capacidad de espumado, la capacidad de retención de agua y la solubilidad. Además, los hidrolizados mejoran la textura y características finales de productos alimenticios, como en este caso los hotcakes.

Figura 15. Cartel de presentación en el XX Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería

## LA SOCIEDAD MEXICANA DE BIOTECNOLOGÍA Y BIOINGENIERÍA

### EXTIENDE LA CONSTANCIA A:

Ana Lucía Ramírez-Funes, María Soledad Córdova Aguilar, Isadora Martínez-Arellano

Por su participación en la sesión de carteles con el trabajo:  
OBTENCIÓN DE HIDROLIZADOS DE FRIJOL, GARBANZO, HABA Y LENTEJA

Ixtapa Zihuatanejo, Gro, a 11 - 15 de septiembre del 2023

  
DRA. ROMINA RODRÍGUEZ SANOJA  
PRESIDENTA MDN 2022-2024

  
DR. LUIS FLORES COTERA  
PRESIDENTE DEL CONGRESO

  
DRA. BEATRIZ RUIZ VILLAFÁN  
SECRETARIA MDN 2022-2024

**Figura 16.** Constancia de participación en el XX Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería