

ELABORACIÓN DE ANÁLOGOS CÁRNICOS MEDIANTE EL PROCESO DE EXTRUSIÓN DE ALTA HUMEDAD A PARTIR DE AISLADO DE PROTEÍNA DE HABA Y SALVADO DE TRIGO INTEGRAL

Production of meat analogues by high humidity extrusion process from bean protein isolate and whole wheat bran

Martínez, M.; Egea, M.

Departamento de tecnología de alimentos, Facultad de Veterinaria, Universidad de Murcia.

Autora de correspondencia: Marta Martínez López, marta.m.l@um.es

Tipo de artículo: Trabajos Fin de Grado (Ciencia y Tecnología de los Alimentos)

Recibido: 22/10/2024

Aceptado: 22/05/2025

RESUMEN

El interés por una alimentación saludable ha crecido en los últimos años, aumentando el consumo de proteínas. La carne es la principal fuente de proteínas, aunque su consumo se ha visto reducido por su impacto negativo en la salud, el medio ambiente y su elevado precio. Esto impulsa la búsqueda de alternativas más sostenibles, como los análogos cárnicos. Estos productos imitan la carne y son elaborados a partir de proteínas vegetales mediante la tecnología de extrusión. Entre las diversas fuentes de proteínas vegetales, las legumbres son las más comunes por su elevada calidad proteica.

Este estudio se centró en el desarrollo de análogos cárnicos utilizando aislado de proteína de haba y salvado de trigo integral en una proporción 2:1 respectivamente. Se elaboraron tres lotes con diferente contenido de agua:harina inicial, siendo HA: 60%:40%, HM: 50%:50% y HB: 40%:50% respectivamente. Los lotes HA y HM se prepararon mezclando el agua y la materia prima antes de añadirlos al extrusor. El lote HM se elaboró añadiendo la materia prima manualmente al extrusor y el flujo de agua fue de 18 ml/min a través de una bomba. Las muestras se procesaron en una extrusora de doble tornillo a una velocidad de 150 rpm.

Se evaluó el índice de absorción de agua de la harina de haba y su mezcla con salvado de trigo, sin encontrarse diferencias significativas entre ambas. Las muestras texturizadas presentaron diferentes niveles de humedad lo que afectó el color y la textura. La muestra HB, con menor humedad, fue la más oscura. En cuanto a la textura, la muestra HB tuvo mayor dureza, gomosidad y masticabilidad que HM y HA debido a su menor contenido de humedad. No se observaron diferencias significativas en la capacidad de retención de agua entre las muestras.

Palabras clave: Vicia faba, sustitutos de carne, proteína vegetal, fibra alimentaria, tecnología de extrusión.

ABSTRACT

Interest in healthy eating has grown in recent years, increasing the consumption of protein. Meat is the main source of protein, although its consumption has been reduced due to its negative impact on health, the environment and its high price. This is driving the search for more sustainable alternatives, such as meat analogues. These products mimic meat and are made from vegetable proteins using extrusion technology. Among the various sources of vegetable proteins, pulses are the most common due to their high protein quality.

This study focused on the development of meat analogues using bean protein isolate and whole wheat bran in a 2:1 ratio respectively. Three batches were prepared with different initial water:flour content, being HA: 60%:40%, HM: 50%:50% and HB: 40%:50% respectively. The HA and HM batches were prepared by mixing the water and raw material before adding them to the extruder. The HB batch was prepared by adding the feedstock manually to the extruder and the water flow was 18 ml/min through a pump. The samples were processed in a twin screw extruder at a speed of 150 rpm.

The water absorption rate of broad bean flour and its mixture with wheat bran were evaluated, with no significant differences between the two. The textured samples had different moisture levels, which affected colour and texture. The HB sample, with the lowest moisture content, was the darkest. In terms of texture, the HB sample had higher hardness, gumminess and chewiness than HM and HA due to its lower moisture content. No significant differences in water holding capacity were observed between the samples.

Keywords: Vicia faba, meat substitutes, vegetable protein, dietary fibre, extrusion technology.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años ha crecido el interés de los consumidores por mantener una alimentación saludable, priorizando alimentos ricos en proteínas, fibra y vitaminas (Aburto Rodríguez y Taboada Rosales, 2019). Debido al incremento de la población mundial en los próximos años, habrá una mayor demanda de proteínas a nivel global. Las proteínas provienen principalmente de productos de origen animal (AINIA, 2019b), pero a lo largo de los años el consumo de carne se ha visto reducido debido al alto valor económico que está alcanzando (Eurocarne digital, 2023). La producción y consumo de carne genera controversia en diferentes ámbitos (Latvala et al., 2012). Según la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición, “Un consumo continuado y/o excesivo de carne puede relacionarse con determinados problemas

de salud, teniendo en cuenta que la carne es una fuente importante de proteínas de alto valor biológico, aportando además una gran cantidad de micronutrientes en los que se incluyen las vitaminas del complejo B, hierro, potasio, fósforo y zinc” (AESAN, 2018). Singh et al., (2021) señala que los principales problemas asociados con la producción de carne incluyen la posibilidad de enfermedades animales, el impacto negativo en la biodiversidad terrestre y acuática, la emisión de gases de efecto invernadero y otros problemas medioambientales. A pesar de estos inconvenientes, el 95% de los consumidores cubre sus necesidades proteicas mediante la inclusión de proteína animal en su dieta, un 23% lo hace a través del consumo de proteína vegetal y un 33% recurre a alimentos enriquecidos con proteínas (Sánchez, 2023). Esto plantea la necesidad de buscar nuevas fuentes de pro-

teínas y realizar procesos más sostenibles en la gestión de este recurso (AINIA, 2019b).

Muchos consumidores que buscan alimentos saludables están mostrando interés en los análogos cárnicos, que son alimentos de bajo impacto ambiental, éticos, rentables o innovadores. Estos productos son obtenidos de la combinación de distintos ingredientes y aditivos de origen no cárnico que son transformados para imitar la estructura fibrosa, el color y el aroma de la carne o de un producto cárnico procesado (Ferrer y Gou, 2022). Hay numerosas fuentes vegetales de las cuales se pueden extraer proteínas para su concentración y utilización para el proceso de extrusión. Dentro de los cereales, el más utilizado es el trigo. Entre de las legumbres, las habas (*Vicia faba L.*), destacan porque tienen un excelente potencial para la producción de nuevos alimentos debido a que tienen buena calidad proteica (Strauta y Muizniece-Brasava, 2016). Las habas tienen una presencia arraigada en la cultura culinaria tradicional de la Región de Murcia, sin embargo, en los últimos años la producción de este cultivo ha sufrido un declive. (Martínez Martínez, 2018; Otón Alcaraz, 2017). La composición nutricional de las habas se considera beneficiosa para la salud, ayudando a prevenir enfermedades crónicas y degenerativas. Además de sus valores nutricionales, las habas ofrecen numerosas ventajas medioambientales, lo que las convierten en un cultivo eficiente y versátil. (Saldanha do Carmo et al., 2021). Se ha aumentado el interés por los aislados y los concentrados proteicos de leguminosas para desarrollar nuevos productos (Ayala Rodríguez, 2021) ya que varios estudios que informan que para obtener análogos cárnicos con una estructura fibrosa similar a la carne es necesario un elevado contenido en proteínas, entre un 50 y 90% (Ferawati et al., 2021). Además, según Kantanen et al. (2022) un aumento del contenido de proteínas de la materia prima causa un aumento de la dureza, gomosidad y masticabilidad de los análogos cárnicos. A pesar de tener altos contenidos de proteínas, las leguminosas son ricas en lisina, pero son de-

ficientes en aminoácidos azufrados. Por lo tanto, como materia prima única, las leguminosas no son adecuadas nutricionalmente para el proceso de extrusión. Por este motivo se realizan mezclas con cereales, que tienen alto contenido en aminoácidos azufrados, pero bajo en lisina (Aro Aro y Calsin Cutimbo, 2019).

El uso de cereales, como salvado de trigo, aporta fibra dietética insoluble al producto, que es importante en relación con la tecnología de los alimentos, ya que su incorporación como ingrediente en los alimentos tiene una alta capacidad de absorción de agua, puede aumentar la de retención de agua, formar geles y es un emulsionante (Blanco Espeso, 2017). Por este motivo, la fibra impide la evaporación del agua a la salida del extrusor, reduciendo el índice de expansión y aumenta la densidad de los productos extruidos (Gómez Riesco, 2021). Además, las proteínas son de alta calidad nutritiva y son ricas en lisina, metionina y triptófano. También aporta minerales como Fe, K, P, Mg, Zn y Ca (Chaquilla-Quilca et al., 2018).

Las principales líneas de I+D se centran en utilizar la tecnología de extrusión, produciendo proteína texturizada (AINIA, 2019a; Asgar et al., 2010). En la industria alimentaria, la tecnología de extrusión se emplea para producir diferentes productos a partir de diversos ingredientes o mezclas enriquecidas con proteínas (Saldanha do Carmo et al., 2021), provocando cambios significativos en las propiedades funcionales, nutricionales y sensoriales del material inicial (Blanco Espeso, 2017). Este proceso consiste en hacer que un material, como grano, harina o subproducto, fluya a través de una boquilla bajo ciertas condiciones de mezclado, calentamiento y cizallamiento, lo que da forma o expande los ingredientes (Aburto Rodríguez y Taboada Rosales, 2019).

Las características de las proteínas vegetales texturizadas dependen de las propiedades de las materias primas utilizadas y de los parámetros del proceso de extrusión. El aislado de proteína de haba tiene un contenido muy pequeño de almi-

dón, y en la ausencia de cantidades importantes de almidón, la cocción por extrusión reduce la solubilidad de la proteína cuando la temperatura aumenta (Leonard et al., 2020). Por este motivo se añade salvado de trigo que posee mayor cantidad de almidón. Los parámetros principales del proceso de extrusión son el contenido de humedad, la temperatura y la velocidad del tornillo (Ferrer y Gou, 2022). El contenido de humedad es fundamental para determinar la calidad de los productos cárnicos, ya que influye en la textura, jugosidad, sabor, aspecto y su vida útil (Kim et al., 2021). La velocidad de tornillo puede afectar en la dureza de los extruidos (Gómez Riesco, 2021).

La materia prima dentro de extrusora se mueve y se transforma a lo largo de tres zonas: alimentación, amasado y zona de cocción final. Las técnicas de extrusión se pueden clasificar como procesos de alta humedad o procesos de baja humedad (Singh et al., 2021). La extrusión de baja humedad ha sido utilizada durante mucho tiempo, elaborando productos con contenido de humedad inferiores al 40%, como cereales, galletas, etc. Esta tecnología permite obtener productos texturizados de proteína que deben ser hidratados para ofrecer una textura esponjosa y una consistencia cárnica final (Ferrer y Gou, 2022). La extrusión de alta humedad permite obtener productos con un contenido de humedad entre el 40% y el 80% (Kim, 2018) de aspecto fibrosos, homogéneo y húmedo, similares a los productos cárnicos (Ferrer y Gou, 2022). Para la extrusión de alimentos proteicos en alta humedad y un tamaño de partícula más pequeño se usan generalmente los extrusores de doble tornillo, ya que son más eficientes. (Singh et al., 2021).

La calidad del producto final se ve influenciada por varios factores, como el tipo de extrusor utilizado, el tipo y la velocidad de tornillo, la humedad, las temperaturas del proceso y el caudal de alimentación de la materia prima y agua (Blanco Espeso, 2017). Además, durante el proceso de extrusión se pueden producir diferentes efectos como la reducción de compuestos antinutricionales que poseen algunos alimentos

vegetales, la degradación de vitaminas termolábiles, se puede producir la reacción de Maillard (Gómez Riesco, 2021).

Un estudio realizado por Saldanha do Carmo et al. (2021) demostró que es posible elaborar análogos cárnicos utilizando exclusivamente un concentrado de proteína de habas con unas condiciones óptimas de temperatura, humedad y velocidad de alimentación. El contenido de humedad es el factor que más impacto tuvo: un alto contenido de humedad promovió una mayor capacidad de retención de agua y mayor desnaturalización de proteínas, mientras que un bajo contenido de humedad favoreció las reacciones de pardeamiento.

El color de los productos cárnicos suele considerarse el atributo más importante para la intención de compra del consumidor (Natabirwa et al., 2018). Esto dependerá del proceso de elaboración, especialmente de la temperatura y de la humedad de extrusión. (Durán Rodríguez, 2022). Las mediciones de color pueden realizarse con colorímetros (Ruedt et al., 2023) mediante el modelo CIELab, que relaciona los valores numéricos del color con la percepción visual humana. El color de un alimento se describe a través de tres atributos: luminosidad, el tono y la pureza del color (Talens, 2017b). Estos atributos pueden obtenerse a partir de los valores L^* , que representa la medida de luminosidad de un color, variando desde cero para negro hasta 100 para blanco, a^* , que mide el contenido rojo (+a) o verde (-a) de un color y b^* , que mide el contenido de amarillo (+b) o azul (-b) de un color (Durán Rodríguez, 2022).

Los análogos de la carne deben parecerse a la carne existente en su textura (Schreuders et al., 2021). Para este análisis se utiliza un analizador de textura para alimentos, el cual ofrece distintos parámetros como la dureza, elasticidad y gomosidad (Gómez Riesco, 2021). Este instrumento evalúa la percepción sensorial de un alimento al ser consumido o su comportamiento durante su procesamiento. Durante una prueba de compresión, la sonda del analizador detecta la superficie

del alimento y aplica una fuerza constante mientras se mueve, deformando la muestra. Una célula de carga mide continuamente la respuesta del alimento a estas condiciones (Freeman, 2023).

Para cuantificar el grado de texturización de las proteínas, se observan sus propiedades de captación y retención de agua después de someter al producto a una rehidratación. Esta capacidad es crucial en la elaboración de productos cárnicos, ya que proporciona mejor adhesión y consistencia, mejorando su textura. (Gómez Riesco, 2021).

El objetivo general de este trabajo es desarrollar análogos cárnicos con la tecnología de extrusión de alta humedad mediante un método de investigación experimental, utilizando aislado proteico de haba y salvado de trigo como materia prima. De este objetivo principal derivan los siguientes objetivos específicos:

- Establecer si la adición de salvado de trigo a la harina de haba mejora el índice de absorción de agua (IAA).
- Determinar qué porcentaje de humedad de los lotes permite obtener un producto final con características de textura similares a la carne.
- Estudiar cómo el nivel de humedad de los extrusionados afecta a los parámetros de color y capacidad de retención de agua.

MATERIAL Y MÉTODOS

1. Materia prima

Para el estudio experimental se ha utilizado aislado proteico de haba Tendra® (*Vicia Faba*),

se adquirió de Cosun Protein (Dinteloord, Países Bajos). El aislado de proteína de haba contiene aproximadamente un 85% de proteínas, siendo bajo en hidratos de carbono, sales, grasas y azúcares. El salvado de trigo integral utilizado para el estudio está fabricado por Frießinger Mühle GmbH (Bad Wimpfen, Alemania). La materia prima fue una mezcla de harina de haba junto con salvado de trigo integral en relación 2:1.

2. Proceso de extrusión de alta humedad

Se elaboraron tres lotes con diferente contenido de agua:harina inicial siendo HA: 60%:40%, HM: 50%:50% y HB: 40%:60% respectivamente. Los lotes HA y HM se prepararon mezclando el agua y la materia prima antes de añadirlos al extrusor. El lote HM se elaboró añadiendo la materia prima manualmente al extrusor y el flujo de agua fue de 18 ml/min a través de una bomba.

Todas las muestras se procesaron en una extrusora de laboratorio de doble tornillo a una velocidad de 150 rpm, y con temperaturas en las zonas 1,2 y 3 de 40°C, 110°C y 120°C, respectivamente.

El proceso de extrusión de todas las muestras se ha realizado en una extrusora de laboratorio TSA Industriale SAS, Cernobbio (Italia) de doble tornillo. El flujo de agua se bombea a través de una bomba de agua de Forever Speed (Zhoushan, China). Las temperaturas y la presión de fusión se monitorean usando el Extruder Winest software (Brabender). En la Tabla 1 se muestran las condiciones de la extrusión de cada prueba.

Tabla 1. Condiciones del proceso de extrusión de cada lote

Muestra	Cantidad de agua añadida	Forma de añadir el agua	Velocidad tornillo (rpm)	Alimentación del producto	Temperatura (°C) extrusor: Zona 1	Temperatura (°C) extrusor: Zona 2	Temperatura (°C) extrusor: Zona 3
HB	40%	Bomba de agua (18ml/min)	150	Manual	40	110	120
HM	50%	Manual	150	Manual	40	110	120
HA	60 %	Manual	150	Manual	40	110	120

3. Índice de absorción de agua de la harina

La medición de la absorción de agua se determinó según Vegas et al. (2017) con algunas modificaciones. En un tubo se coloca 1g de muestra y se le añaden 7 ml de agua. Después se agita en un vortex durante 30 segundos. Posteriormente se centrifuga a 2500 rpm durante 10 minutos y el sobrenadante se elimina. La diferencia entre la masa de la muestra antes y después de absorber el agua, se considera como la cantidad de agua absorbida. La capacidad de absorción de agua se determina dividiendo la cantidad de agua retenida por la cantidad de muestra, expresada como sólidos. Las muestras analizadas son la harina de haba sola y la mezcla de harina de haba con salvado de trigo integral, y se realizaron 4 mediciones de cada muestra.

Se calcula usando la siguiente fórmula:

$$IAA = \frac{Pf - Pt}{P}$$

Donde:

Pf = Peso final de la muestra + tubo de ensayo (g)

Pt = Peso del tubo de ensayo vacío (g)

P = Peso de la muestra inicialmente (g)

4. Humedad

Se determinó el porcentaje de humedad siguiendo la norma ISO 1442 (2023). Previamente al análisis, las placas de Petri se colocaron en una estufa a 105°C durante 24 horas. Después se enfriaron a temperatura ambiente en un desecador durante 10 minutos y se pesaron. Seguidamente se pesó 1 g de cada muestra en las placas y se dejaron en la estufa a 105°C durante 24 horas. Posteriormente se enfriaron a temperatura ambiente en el desecador durante 20 minutos y se pesaron. Utilizando el

contenido de agua de las muestras después del proceso de extrusión y secado, se calcularon las pérdidas de agua asociadas a estos procesos (Peñaranda et al., 2023). El estudio se realizó por duplicado de cada muestra texturizada.

Se calculó usando la siguiente fórmula:

$$\% Humedad = \left(\frac{P1 + P2 - P3}{P2} \right) \cdot 100$$

Donde:

P1= Placa Petri vacía

P2= Peso muestra

P3= Placa + muestra desecada

5. Color

El color de las muestras de polvo se midió con un colorímetro Konica Minolta CM-700d (Tokio, Japón). El color se mide en cuatro puntos elegidos al azar de la superficie de cada muestra texturizada molida. Los resultados se expresan utilizando el sistema de coordenadas CIELab obteniendo las coordenadas L*(Luminosidad), a* (índice de amarillo-azul) y b* (índice de rojo-verde) (Peñaranda et al., 2023).

6. Análisis del perfil de textura

El análisis del perfil de los texturizados proteicos se realizó utilizando un texturómetro CT310K (Brookfield CNS Engineering Labs. Inc., Harlow, Reino Unido) con el software TexturePro CT V1.8. Se realiza un ensayo de doble ciclo de compresión, en el cual la muestra se comprime hasta alcanzar el 50% de su altura original utilizando una sonda cilíndrica de 10 mm de diámetro (conocida como TA 10) y una celda de carga de 25 kg (Peñaranda et al., 2023). Por cada muestra texturizada se tomaron 4 mediciones. Los parámetros analizados fueron (Tabla 2): dureza, masticabilidad, cohesividad, gomosidad, elasticidad, resiliencia.

Tabla 2. Análisis de perfil de textura

Parámetro	Definición
Dureza	Fuerza máxima aplicada en el primer ciclo de compresión
Resiliencia	Capacidad de un alimento de volver a su forma original
Cohesividad	Relación entre las áreas generadas en los dos ciclos de compresión y representa el esfuerzo necesario para comprimir la muestra una segunda vez en comparación con la primera
Elasticidad	Habilidad de la muestra para recuperar su estado inicial durante el tiempo entre el final de la primera compresión y el inicio de la segunda.
Gomosidad	Energía necesaria para desintegrar un alimento semisólido hasta que está listo para ser tragado.
Masticabilidad	Energía necesaria para masticar un alimento sólido hasta que esté listo para ser ingerido.

Fuente: (Talens, 2017a)

7. Capacidad de retención de agua (CRA)

Según la técnica de Grau y Hamm (1953), la capacidad de retención de agua se mide por el agua liberada por una muestra después de someterla a una presión determinada. Se pesó 0.3g de cada muestra y se colocó en un papel de filtro previamente pesado. El papel de filtro se colocó entre dos placas Petri y se sometió durante 10 minutos a una presión de 1 kg. La CRA se calcula en función del porcentaje de agua liberada respecto al peso de la muestra inicial. El estudio se realiza de las muestras texturizadas molidas y haciendo 4 réplicas de cada muestra.

Se calcula utilizando las fórmulas:

$$\% \text{ de agua libre} = \left[\frac{(Pf - Pi)}{P} \right] \cdot 100$$

Donde:

- Pf= peso final del papel de filtro (g)
- Pi= peso inicial del papel de filtro (g)
- P= peso de la muestra (g) = 0,3 g

$$CRA = 100\% - \% \text{ de agua}$$

8. Análisis estadístico

Para evaluar los diferentes parámetros en las muestras estudiadas, se llevó a cabo una

prueba de normalidad de *Shapiro-Wilk*. Como los datos seguían una distribución normal, se llevó a cabo un análisis estadístico de varianza utilizando ANOVA (media ± desviación estándar) para comparar las medias de tres o más grupos distintos. Mediante la prueba de Tukey se compararon las medias de los parámetros y sus diferencias entre grupos. Todos los test estadísticos se analizaron usando el software estadístico SPSS 28 (SPSS, Chicago, IL, EE. UU.).

RESULTADOS

1. Índice de absorción de agua

Los resultados del índice de absorción de agua de harina de haba y la mezcla de harina de haba y salvado de trigo se muestran en la Figura 1. Este análisis se realizó con el objetivo de determinar si el salvado de trigo mejora la extrusión, mezclándose mejor la materia prima con el agua. La harina de haba tuvo un índice de absorción de agua de 4.6 y la mezcla de harina de haba y salvado de trigo tuvo un valor de 4.3. No hay diferencias significativas ($p>0.05$) en el índice de absorción de agua entre las muestras. Aunque se observó una mejora en la extrusión a partir de harina de haba y salvado de trigo (datos no incluidos), esta mejora parece que no está relacionada con una mayor absorción de agua.

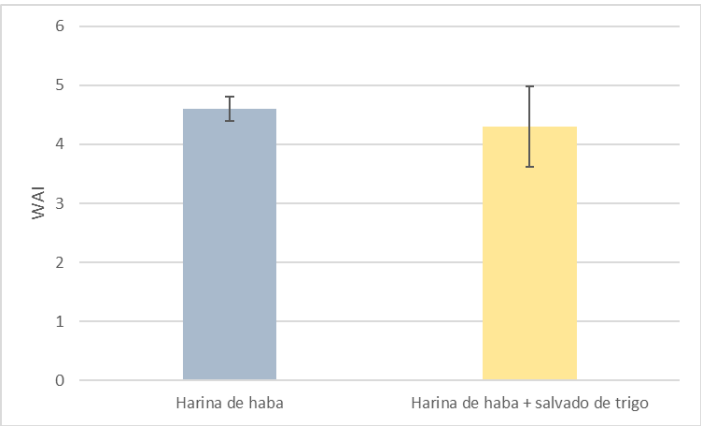


Figura 1. Índice de absorción de agua (media $\pm$ desviación) de harina de haba sola y de harina de haba con salvado de trigo (2:1).

2. Humedad

En la Figura 2 se muestra los resultados del análisis de humedad de las diferentes muestras. Hubo diferencias significativas entre las medias

de las muestras ($p < 0.05$), obteniendo en HB un porcentaje de humedad del 34.2%, HM un 46.3% y HA un 59.4%. Los resultados son los esperados ya que se aplicaron inicialmente diferentes porcentajes de agua durante la extrusión.

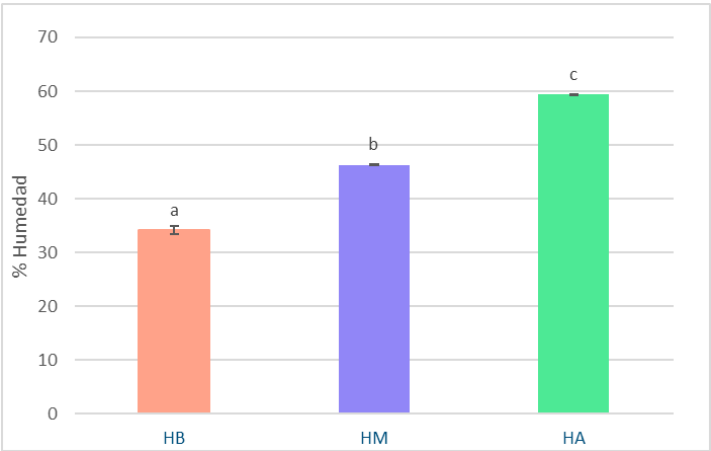


Figura 2. Contenido humedad (media $\pm$ desviación) de la muestra HB, HM y HA después del proceso de extrusión. *HB-Muestra extruida elaborada con un 40% agua y 60% de mezcla de harina y una tasa de flujo de agua de 18 ml/ min. HM- Muestra extruida elaborada con un 50% de agua y un 50% de mezcla de harina. HA- Muestra extruida elaborada con un 60% de agua y un 40% de mezcla de harin. a-c Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas entre procesos ($p < 0.05$) con test de Tukey*

3. Color

Las coordenadas de color y las diferencias entre muestras por efecto de la extrusión se muestran en la Tabla 3. Los resultados mostraron que las tres muestras presentan diferencias significativas ($p<0.05$) para las medidas de las coordenadas de color analizadas. El aspecto de las muestras y su diferencia de color se puede observar en la Figura 3.

4. Textura

Los resultados del análisis de textura de las muestras texturizadas se muestran en la Tabla 4. Se encontraron diferencias significativas ($p<0.05$) entre las muestras estudiadas para los parámetros dureza, resiliencia, cohesividad, elasticidad, gomosidad, masticabilidad.



Figura 3. Aspecto visual de las muestras extruidas elaboradas con diferente contenido de humedad. *HB-Muestra extruida elaborada con un 40% agua y 60% de mezcla de harina y una tasa de flujo de agua de 18 ml/ mi. HM- Muestra extruida elaborada con un 50% de agua y un 50% de mezcla de harin. HA- Muestra extruida elaborada con un 60% de agua y un 40% de mezcla de harina*

Tabla 3. Parámetros de color (media $\pm$ desviación) de las muestras HB, HM y HA

	HB	HM	HA
L*	52.9 $\pm$ 1.22 ^b	55.5 $\pm$ 0.47 ^c	49 $\pm$ 0.22 ^a
a*	6.6 $\pm$ 0.26 ^b	6.3 $\pm$ 0.2 ^b	4.2 $\pm$ 0.2 ^a
b*	15.1 $\pm$ 0.6 ^b	15.4 $\pm$ 0.42 ^b	10 $\pm$ 0.21 ^a

HB-Muestra extruida elaborada con un 40% agua y 60% de mezcla de harina y una tasa de flujo de agua de 18 ml/ min

HM- Muestra extruida elaborada con un 50% de agua y un 50% de mezcla de harina

HA- Muestra extruida elaborada con un 60% de agua y un 40% de mezcla de harina

a-c Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas entre procesos ($p<0.05$) con test de Tukey

Tabla 4. Análisis de perfil de textura (media $\pm$ desviación) de las muestras extruidas

	HB	HM	HA
Dureza (g)	652 $\pm$ 103.8 ^b	195.25 $\pm$ 73.45 ^a	143.8 $\pm$ 52.13 ^a
Resiliencia	0.2 $\pm$ 0.01 ^a	0.22 $\pm$ 0.02 ^a	0.3 $\pm$ 0.04 ^b
Cohesividad	0.5 $\pm$ 0.07 ^{ab}	0.4 $\pm$ 0.1 ^a	0.6 $\pm$ 0.06 ^b
Elasticidad (mm)	3.7 $\pm$ 0.4 ^b	2.9 $\pm$ 0.47 ^a	3.8 $\pm$ 0.19 ^b
Gomosidad (g)	334 $\pm$ 92.36 ^b	83.5 $\pm$ 46.47 ^a	86.8 $\pm$ 39.15 ^a
Masticabilidad (Mj)	12.3 $\pm$ 4.2 ^b	2.6 $\pm$ 1.63 ^a	3.2 $\pm$ 1.32 ^a

HB-Muestra extruida elaborada con un 40% agua y 60% de mezcla de harina y una tasa de flujo de agua de 18 ml/ min
HM- Muestra extruida elaborada con un 50% de agua y un 50% de mezcla de harina
HA- Muestra extruida elaborada con un 60% de agua y un 40% de mezcla de harina
a-c Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas entre procesos ($p<0.05$) con test de Tukey

5. Capacidad de retención de agua (CRA)

Los resultados de la capacidad de retención de agua de cada muestra se muestran en la Fi-

gura 4. No se observaron diferencias significativas en los valores de capacidad de retención de agua (CRA) entre las tres muestras analizadas, siendo todos los valores cercanos al 100%.

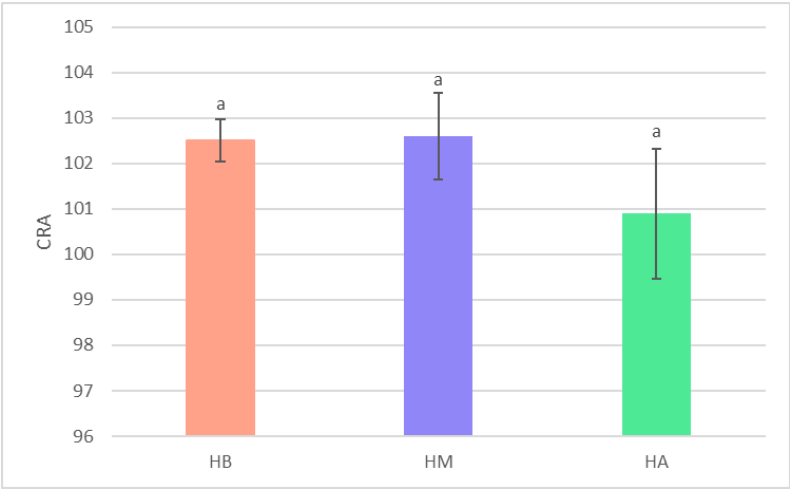


Figura 4. Porcentaje de capacidad de retención de agua (media $\pm$ desviación) de las muestras texturizadas molidas. *HB-Muestra extruida elaborada con un 40% agua y 60% de mezcla de harina y una tasa de flujo de agua de 18 ml/ min. HM- Muestra extruida elaborada con un 50% de agua y un 50% de mezcla de harin. HA- Muestra extruida elaborada con un 60% de agua y un 40% de mezcla de harina. a-c Letras diferentes en la misma fila indican diferencias significativas entre procesos ($p<0.05$) con test de Tukey*

DISCUSIÓN

1. Índice de absorción de agua

Los resultados de este estudio no coinciden con el estudio de Blanco Espeso (2017), que indica que el índice de absorción de agua de las harinas de las leguminosas puede estar influenciado por la interacción con otros componentes como la fibra. El salvado de trigo se caracteriza por ser rico en fibra insoluble, la cual posee elevada capacidad de absorción de agua. Además, otro estudio señala que los concentrados proteicos con menor proporción de proteínas muestran mayor capacidad de absorber agua, posiblemente debido a una mayor concentración de almidón, que tiene gran capacidad de absorción de agua. (Gómez Riesco, 2021).

2. Humedad

Los análogos cárnicos obtenidos por extrusión de alta humedad tienen un rango de humedad entre el 40% y 80% (Kim, 2018). Las muestras extruidas se han realizado mediante extrusión húmeda, pero en el rango de alta humedad solo entran los lotes HM y HA.

El contenido de humedad de las muestras es inferior a otros estudios realizados con extrusión de alta humedad. El estudio que realizó Saldanha do Carmo et al. (2021) para la extrusión de un concentrado de harina de haba obtuvo valores de humedad de los análogos de carne entre 46.0% y 65.5 %.

3. Color

Para la coordenada L*, el lote HB fue más oscuro que HM. Este resultado coincide con los estudios realizados por Fang et al. (2014) y Kantanen et al., (2022) que observan que un menor contenido de agua conduce a texturizados de color más oscuro. Según Mateen et al. (2023) la interacción de baja humedad, una alta cantidad de proteínas y temperaturas elevadas acelera la

reacción de Maillard y el proceso de caramelización, resultando en un color más oscuro. Como también informaron Saldanha do Carmo et al. (2023), un aumento de la humedad condujo a un aumento de la luminosidad, obteniendo productos más claros. Además, Rekola et al. (2023) encontraron que la incorporación de salvado de trigo en diferentes muestras de aislado de proteína de guisante dio como resultado muestras más oscuras. Sin embargo, se esperaba que la muestra HA tuviera el valor de luminosidad más alto debido a que tiene mayor porcentaje de humedad, pero presenta el valor de luminosidad más bajo. Sería necesario repetir o profundizar en este aspecto para saber a qué se debe.

Para la coordenada a*, en los lotes HB y HM no se ha encontrado evidencia suficiente para concluir que las medias de las muestras son diferentes. Ambas tienen color más rojizo que el lote HA. Esto concuerda con investigaciones anteriores (Aćkar et al., 2018; Saldanha do Carmo et al., 2023) que explican que los tonos rojizos incrementan en los extruidos con menor contenido de humedad sobre todo por la reacción de Maillard. El salvado de trigo tiene un color marrón rojizo por lo que era de esperar que los productos extruidos tuvieran un tono más rojo.

El tono amarillo (b*) es similar en los lotes HB y HM, siendo más amarillas que HA. Al contrario de estos resultados, Saldanha do Carmo et al. (2021) observaron que un mayor contenido de humedad puede dar lugar a productos más claros y amarillentos en la extrusión de un concentrado de proteína de haba. Estas diferencias pueden deberse, según los resultados obtenidos por Rekola et al. (2023), a que las muestras de aislado de proteína de guisante con cierto porcentaje de salvado de trigo presentan una coloración menos amarilla en comparación con las muestras sin dicho contenido.

4. Textura

Según Saldanha do Carmo et al. (2021) el contenido de agua es lo que más puede afectar a

las propiedades de textura de la proteína vegetal texturizada.

El valor de dureza encontrado para HB es 652 g, para HM, 195.25 g y para HA 143.8 g. La HB tuvo mayor valor de dureza que HM y HA debido a su menor contenido en agua. Según Ferawati et al. (2021) esto se debe a que cuando la humedad de la mezcla aumenta, la viscosidad y la temperatura en el extrusor disminuyen, dando lugar a una desnaturalización incompleta de las proteínas, que tiene como consecuencia un producto más blando. Además, la dureza de los extruidos puede aumentar con una mayor cantidad de fibra de origen vegetal a causa de una disminución del grosor de la pared celular y su ruptura anticipada (Lazou y Krokida, 2010; Nascimento et al., 2012; Yanniotis et al., 2007). Las muestras extruidas se esperan que tengan una textura tierna y moderadamente firme (Saldanha do Carmo et al., 2021). Además, el contenido de humedad afecta de manera similar a la masticabilidad, ya que son parámetros que están acoplados y no pueden tener efecto independiente del otro (Mateen et al., 2023).

La muestra HB presentó mayor masticabilidad, con un valor de 12.3 mJ, que las muestras HM y HA, con valores de 2.6 mJ y 3.2 mJ respectivamente. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Lin et al. (2000) y Mateen et al. (2023), quienes concluyeron que la masticabilidad se vio afectada significativamente ($p < 0.05$) por el contenido de humedad con una relación negativa en extrusionados de aislado de proteína de soja.

Las muestras HB y HM mostraron un valor de resiliencia de 0.2 y HA tuvo un valor de 0.3. Estos datos no coinciden con los obtenidos en harina de soja y aislado de proteína de soja por Mateen et al. (2023) que observaron que el contenido de humedad de las muestras no afectó ($p < 0.05$) a la resiliencia. Para una mezcla de harina de haba y fibra de avena que contenía un contenido de proteína inferior (60-70% de proteína) al de la materia prima del presente estudio, pero con un contenido de humedad similar

a HB, la resiliencia observada fue de alrededor de 0.36 (Saldanha do Carmo et al., 2023), por lo que no concuerda con los resultados obtenidos en el presente trabajo.

La muestra HA es la que presentó mayor cohesividad, la muestra HB obtuvo valores intermedios y la muestra HM registró los valores de cohesividad más bajos. Mateen et al. (2023) encontraron que, en la extrusión con alto contenido de humedad de una mezcla de aislado de proteína de soja y harina de soja desgrasada, la cohesividad aumentó con el incremento del contenido de humedad, y tuvo un impacto negativo con la concentración de proteínas.

Las muestras HB y HA obtuvieron mayores valores de elasticidad que la muestra HM. Otro estudio encontró diferencias significativas ($p < 0.05$) en el parámetro de elasticidad entre las muestras con diferentes niveles de humedad, observando una disminución de la elasticidad a medida que aumentaba el contenido de humedad (Saldanha do Carmo et al., 2021). Los resultados obtenidos en este estudio no son los esperados, ya que la muestra con mayor contenido de humedad y la muestra con menor contenido de humedad presentan valores similares, mientras que la muestra con un contenido intermedio de humedad muestra menor elasticidad.

Las tres muestras mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) para el parámetro de gomosidad. La muestra HB obtuvo valores de gomosidad más altos que HM y HA. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Kantanen et al. (2022); Lin et al. (2000) que indican que a medida que el contenido de humedad de la muestra disminuye, la gomosidad aumenta.

5. Capacidad de retención de agua (CRA)

Al contrario del presente estudio, Saldanha do Carmo et al. (2021) en su estudio observaron que la CRA incrementa con el aumento del contenido de humedad, obteniendo valores de 380% con un contenido de humedad similar a este estudio. Otros estudios de harina de soja

también concluyeron que la capacidad de retención de agua aumenta con el contenido de humedad, obteniendo valores de aproximadamente un 300% (Lin et al., 2000; Singh y Koksel, 2021). CRA muestra un comportamiento diferente en distintas investigaciones, lo cual puede deberse factores como el tamaño de partícula y los grupos hidrófilos presentes en las fracciones, la estructura primaria de la proteína y su estado de conformación. Además, también puede estar relacionada con la presencia de almidón (De Angelis et al., 2024; Mazaheri Tehrani et al., 2017). En general, las proteínas texturizadas presentan una alta capacidad de retención de agua, debido a la estructura formada por los agregados proteicos durante el proceso de extrusión (Gómez Riesco, 2021). Por otro lado, durante la extrusión, el almidón contenido en el salvado de trigo puede sufrir degradación, pregelatinización y modificaciones en su conformación, y las proteínas desnaturalizadas pueden formar enlaces con la fibra, aumentando la capacidad de absorción de agua y solubilización (Blanco Espeso, 2017).

La capacidad de retención de agua (CRA) es muy importante, ya que puede incrementar la eficiencia de los productos y su vida útil, y mejorar su capacidad para tolerar condiciones de almacenamiento más exigentes (Gómez Riesco, 2021).

CONCLUSIÓN

La presencia de salvado de trigo integral no afectó al índice de absorción de agua de la harina de haba, pero si se vio una mejora en la extrusión teniendo efecto antiapelmazante en el extrusionado del aislado de proteína de haba.

Los resultados sugieren que el contenido de humedad es un factor fundamental en las propiedades de color y textura de las proteínas vegetales texturizadas. Obteniendo muestras de color más oscuro, más rojas y menos amarillas las que tienen menor contenido de humedad. Esto se debe a la reacción de Maillard entre

las proteínas y los azúcares reductores de la materia prima. Además, el uso de salvado de trigo puede ser interesante porque parece aportar color rojizo.

El contenido de humedad afectó a varios parámetros de textura como la dureza, resiliencia, fracturabilidad, cohesividad, elasticidad, gomosidad, masticabilidad. Cuanto menor es el contenido de humedad mayor es la dureza, gomosidad y masticabilidad de las muestras extruidas. Por lo tanto, la mezcla de harina con un 40% de agua fue la que logró una mejor texturización para elaborar análogos cárnicos, en comparación con las demás combinaciones realizadas.

Por otra parte, el contenido de humedad no afectó a la capacidad de retención de agua de las muestras extruidas. Esto quiere decir que el porcentaje de humedad de las muestras no va a influir, en principio, en este parámetro que está relacionado con la vida útil del producto.

Los resultados obtenidos en este estudio indican que se pueden desarrollar análogos cárnicos con unas características sensoriales similares a la carne a partir de aislados de proteínas de haba y salvado de trigo integral, utilizando la tecnología de extrusión de alta humedad.

Para futuros estudios sobre la elaboración de análogos cárnicos, sería necesario profundizar en el contenido de proteína del aislado proteico del haba y como afecta a las condiciones del proceso de extrusión. Además, se pueden buscar otras fuentes de fibra que mejoren la absorción de agua y proporcionen mejores resultados en la extrusión.

REFERENCIAS

Aburto Rodríguez, R. N., & Taboada Rosales, J. M. (2019). *Efecto del proceso de extrusión en la calidad proteica de un snack, utilizando quinua (chenopodium quinoa) y harina de habas (vicia faba)*. [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Santa]. Repositorio Institucional UNS. <https://repositorio.uns.edu.pe/handle/20.500.14278/3454>

- Ačkar, Đ., Jozinović, A., Babić, J., Miličević, B., Panak Balentić, J., & Šubarić, D. (2018). Resolving the problem of poor expansion in corn extrudates enriched with food industry by-products. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 47, 517–524. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2018.05.004>
- AESAN. (2018, 14 de mayo). *La AECOSAN aconseja mantener las recomendaciones de salud pública sobre el consumo moderado de carne*. Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición. https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/web/noticias_y_actualizaciones/temas_de_interes/carne.htm
- AINIA. (2019a, 28 de marzo). *Proteínas 2030: diseñando nuevos alimentos sostenibles*. AINIA. <https://www.ainia.es/jornada-innovacion-proteinas/>
- AINIA. (2019b, July 17). *Nuevas fuentes de proteína vegetal para el desarrollo de ingredientes sostenibles*. AINIA. <https://www.ainia.com/ainia-news/fuentes-proteina-vegetal/>
- Aro Aro, J. M., & Calsin Cutimbo, M. (2019). Elaboración de una mezcla alimenticia a base de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd), cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen), cebada (*Hordeum vulgare* L.) maíz (*Zea mays* L.), haba (*Vicia faba* L.) y soya (*Glycine max* L. Merr) por proceso de cocción – extrusión. *Revista de Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research*, 21(4), 293–303. <https://doi.org/10.18271/ria.2019.506>
- Asgar, M. A., Fazilah, A., Huda, N., Bhat, R., & Karim, A. A. (2010). Nonmeat Protein Alternatives as Meat Extenders and Meat Analogs. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9(5), 513–529. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2010.00124.x>
- Ayala Rodríguez, V. A. (2021). *Calidad nutricional in vitro de la fracción proteica de haba (Vicia faba)* [Tesis de maestría, Universidad Autónoma de Nuevo León]. <https://eprints.uanl.mx/22613/>
- Blanco Espeso, B. (2017). *Estudio de la tecnología de extrusión para la valorización de subproductos vegetales y nuevas aplicaciones en leguminosas como ingredientes de productos para alimentación humana*. [Tesis doctoral, Universidad de Burgos]. <https://riubu.ubu.es/handle/10259/4515>
- Bresciani, A., Chiodaroli, G., Landers, M., Müller, J., Wiertz, J., & Marti, A. (2023). A Short Communication on Functional, Rheological, and Extrusion Properties of High Protein Fractions from Pulses Obtained by Air Classification. *Food and Bioprocess Technology*, 1–7.
- Chaquilla-Quilca, G., Balandrán-Quintana, R. R., Mendoza-Wilson, A. M., & Mercado-Ruiz, J. N. (2018). Propiedades y posibles aplicaciones de las proteínas de salvado de trigo. *CienciaUAT*, 12(2), 137–147.
- De Angelis, D., Latrofa, V., Caponio, F., Pasqualone, A., & Summo, C. (2024). Techno-functional properties of dry-fractionated plant-based proteins and application in food product development: a review. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 104(4), 1884–1896. <https://doi.org/10.1002/jsfa.13168>
- Durán Rodríguez, L. (2022). *Elaboración de análogos cárnicos vía fermentativa*. [Trabajo de fin de máster, Universitat Oberta de Catalunya]. <http://hdl.handle.net/10609/140106>
- Eurocarne. (2023, 11 de octubre). *Estiman una reducción del consumo de carne en la UE del 1,5% para 2023*. <https://eurocarne.com/noticias/codigo/60066/kw/>
- Fang, Y., Zhang, B., & Wei, Y. (2014). Effects of the specific mechanical energy on the physicochemical properties of texturized soy protein during high-moisture extrusion cooking. *Journal of Food Engineering*, 121, 32–38.
- Ferawati, F., Zahari, I., Barman, M., Hefni, M., Ahlström, C., Witthöft, C., & Östbring, K. (2021). High-moisture meat analogues produced from yellow pea and faba bean protein isolates/concentrate: Effect of raw material composition and extrusion parameters

- on texture properties. *Foods*, 10(4). <https://doi.org/10.3390/foods10040843>
- Ferrer, G. M., & Gou, P. (2022). Análogos cárnicos: Extrusionados con baja y alta humedad. *Eurocarne: La Revista Internacional Del Sector Cárnico*, 305, 47–52.
- Freeman, C. (2023). *Mejora la calidad de los alimentos mediante el análisis de texturas*. Instru. <https://www.instru.es/ficheros/ESP-TRA-Improving%20food%20quality%20throughout%20texture%20analysis-Rev.1docx.pdf>
- Gómez Riesco, G. (2021). *Estudio bibliográfico sobre las proteínas procedentes del guisante para la elaboración de texturizados y análogos cárnicos*. [Trabajo de fin de grado, Universidad de Salamanca]. <http://hdl.handle.net/10366/156711>
- Grau, R., & Hamm, R. (1953). Eine einfache methode zur bestimmung der wasserbindung im muskel. *Naturwissenschaften*, 40(1), 29–30.
- Kantanen, K., Oksanen, A., Edelmann, M., Suhonen, H., Sontag-Strohm, T., Piironen, V., Ramos Diaz, J. M., & Jouppila, K. (2022). Physical properties of extrudates with fibrous structures made of faba bean protein ingredients using high moisture extrusion. *Foods*, 11(9), 1280.
- Kim, T. (2018). *Texturization of pulse proteins: peas, lentils, and faba beans*. [Tesis doctoral, Texas A&M University]. <https://hdl.handle.net/1969.1/173522>
- Kim, T., Riaz, M. N., Awika, J., & Teferra, T. F. (2021). The effect of cooling and rehydration methods in high moisture meat analogs with pulse proteins-peas, lentils, and faba beans. *Journal of Food Science*, 86(4), 1322–1334. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15660>
- Latvala, T., Niva, M., Mäkelä, J., Pouta, E., Heikkilä, J., Kotro, J., & Forsman-Hugg, S. (2012). Diversifying meat consumption patterns: Consumers' self-reported past behaviour and intentions for change. *Meat Science*, 92(1), 71–77. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.04.014>
- Lazou, A., & Krokida, M. (2010). Structural and textural characterization of corn–lentil extruded snacks. *Journal of Food Engineering*, 100(3), 392–408.
- Lin, S., Huff, H. E., & Hsieh, F. (2000). Texture and chemical characteristics of soy protein meat analog extruded at high moisture. *Journal of Food Science*, 65(2), 264–269.
- Martínez Martínez, P. (2018). *Interacción sinérgica de bacterias fijadoras de nitrógeno y hongos micorrícicos arbusculares en un cultivo de haba (Vicia faba L.) bajo práctica de manejo convencional*. [Trabajo de fin de grado, Universidad Politécnica de Cartagena]. <http://hdl.handle.net/10317/6740>
- Mateen, A., Mathpati, M., & Singh, G. (2023). A study on high moisture extrusion for making whole cut meat analogue: Characterization of system, process and product parameters. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 85, 103315. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103315>
- Mazaheri Tehrani, M., Ehtiati, A., & Sharifi Azghandi, S. (2017). Application of genetic algorithm to optimize extrusion condition for soy-based meat analogue texturization. *Journal of Food Science and Technology*, 54, 1119–1125.
- Nascimento, E. M. da G. C. do, Carvalho, C. W. P., Takeiti, C. Y., Freitas, D. D. G. C., & Ascheri, J. L. R. (2012). Use of sesame oil cake (*Sesamum indicum* L.) on corn expanded extrudates. *Food Research International*, 45(1), 434–443. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.11.009>
- Natabirwa, H., Muyonga, J. H., Nakimbugwe, D., & Lungaho, M. (2018). Physico-chemical properties and extrusion behaviour of selected common bean varieties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(4), 1492–1501. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8618>
- Otón Alcaraz, M. (2017). *Elaboración industrial de haba mínimamente procesada en fresco. Optimización de su calidad y vida comercial* [Tesis doctoral, Universidad Po-

- litécnica de Cartagena]. <https://repositorio.upct.es/entities/publication/4effcb12-2886-4486-b1ae-5cb4292ab546>
- Peñaranda, I., Garrido, M. D., García-Segovia, P., Martínez-Monzó, J., & Igual, M. (2023). *Enriched Pea Protein Texturing: Physicochemical Characteristics and Application as a Substitute for Meat in Hamburgers*. *Foods*, 12(6). <https://doi.org/10.3390/foods12061303>
- Rekola, S.-M., Kårlund, A., Mikkonen, S., Kolehmainen, M., Pomponio, L., & Sozer, N. (2023). Structure, texture and protein digestibility of high moisture extruded meat alternatives enriched with cereal brans. *Applied Food Research*, 3(1), 100262. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100262>
- Ruedt, C., Gibis, M., & Weiss, J. (2023). Meat color and iridescence: Origin, analysis, and approaches to modulation. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 22(4), 3366–3394. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13191>
- Saldanha do Carmo, C., Knutsen, S. H., Malizia, G., Dessev, T., Geny, A., Zobel, H., Myhrer, K. S., Varela, P., & Sahlstrøm, S. (2021). Meat analogues from a faba bean concentrate can be generated by high moisture extrusion. *Future Foods*, 3, 100014. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100014>
- Saldanha do Carmo, C., Rieder, A., Varela, P., Zobel, H., Dessev, T., Nersten, S., Gaber, S. M., Sahlstrøm, S., & Knutsen, S. H. (2023). Texturized vegetable protein from a faba bean protein concentrate and an oat fraction: Impact on physicochemical, nutritional, textural and sensory properties. *Future Foods*, 7, 100228. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2023.100228>
- Sánchez, E. (2023, marzo 22). El 63% de los consumidores probaría la carne cultivada. AINIA. <https://www.ainia.com/ainia-news/el-63-de-los-consumidores-probaria-la-carne-cultivada/>
- Schreuders, F. K. G., Schlangen, M., Kyriakopoulou, K., Boom, R. M., & van der Goot, A. J. (2021). Texture methods for evaluating meat and meat analogue structures: A review. *Food Control*, 127, 108103. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108103>
- Singh, M., Trivedi, N., Enamala, M. K., Kupam, C., Parikh, P., Nikolova, M. P., & Chavali, M. (2021). Plant-based meat analogue (PBMA) as a sustainable food: A concise review. *European Food Research and Technology*, 247, 2499–2526.
- Singh, R., & Koksel, F. (2021). Effects of particle size distribution and processing conditions on the techno-functional properties of extruded soybean meal. *LWT*, 152, 112321. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112321>
- Strauta, L., & Muizniece-Brasava, S. (2016). The Characteristics of Extruded Faba Beans (*Vicia faba* L.). *Rural Sustainability Research*, 36. <https://doi.org/10.1515/plua-2016-0013>
- Talens, P. (2017a). *Caracterización de las propiedades mecánicas de alimentos mediante análisis de perfil de textura*. Universitat Politècnica de València. <https://riunet.upv.es/handle/10251/83513>
- Talens, P. (2017b). *Evaluación del color y tolerancia de color en alimentos a través del espacio CIELAB* [Artículo docente]. Universitat Politècnica de València. <https://riunet.upv.es/handle/10251/83513>
- Vegas, R., Zavaleta, A., & Vegas, C. (2017). Efecto del pH y cloruro de sodio sobre las propiedades funcionales de harina de semillas de lupinus mutabilis “tarwi” variedad criolla. *Agroindustrial Science*, 7(1), 49–55. <https://doi.org/10.17268/agroind.science.2017.01.05>
- Wild, F. (2016). Manufacture of Meat Analogues Through High Moisture Extrusion. In *Reference Module in Food Science*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.03281-9>
- Yanniotis, S., Petraki, A., & Soumpasi, E. (2007). Effect of pectin and wheat fibers on quality attributes of extruded cornstarch. *Journal of Food Engineering*, 80(2), 594–599.