




**UTILIZACIÓN DE SALVADO Y PROTEÍNA DE ARROZ COMO INGREDIENTES  
PARA LA OBTENCIÓN DE SALCHICHAS HÍBRIDAS**

**Elba Lucía Ramirez Garay**

**ADVERTIMENT.** L'accés als continguts d'aquesta tesi queda condicionat a l'acceptació de les condicions d'ús establertes per la següent llicència Creative Commons:  <https://creativecommons.org/licenses/?lang=ca>

**ADVERTENCIA.** El acceso a los contenidos de esta tesis queda condicionado a la aceptación de las condiciones de uso establecidas por la siguiente licencia Creative Commons:  <https://creativecommons.org/licenses/?lang=es>

**WARNING.** The access to the contents of this doctoral thesis it is limited to the acceptance of the use conditions set by the following Creative Commons license:  <https://creativecommons.org/licenses/?lang=en>

# UAB

## Universitat Autònoma de Barcelona

Facultat de Veterinària

Departament de Ciència Animal i dels Aliments

### **“UTILIZACIÓN DE SALVADO Y PROTEÍNA DE ARROZ COMO INGREDIENTES PARA LA OBTENCIÓN DE SALCHICHAS HÍBRIDAS”**

**Elba Lucía Ramirez Garay**

Barcelona, 2024



## Agradecimientos

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a todas las personas y entidades que me han apoyado a lo largo de este proceso. En primer lugar, deseo agradecer a mis directores de tesis, el Dr. Jordi Saldo y la Dra. Montserrat Mor-Mur, por la inestimable orientación, paciencia y dedicación. Sus valiosos comentarios y sus experiencias han sido fundamentales para la culminación de este trabajo.

También mi más sincero agradecimiento al Programa Nacional De Becas De Postgrado en el Exterior “Don Carlos Antonio López” (BECAL), cuyo apoyo financiero a través de esta beca hizo posible que pudiera dedicarme plenamente a la realización de esta investigación. Sin su respaldo, este proyecto no habría sido posible. Su soporte no solo alivió la carga económica de mis estudios, sino que también me brindó la oportunidad de concentrarme en mi desarrollo académico y personal.

Mi agradecimiento al Departamento de Ciencia Animal y de los Alimentos por brindarme las herramientas necesarias y el espacio adecuado para desarrollar mi investigación. Mi gratitud se extiende a mis compañeros de laboratorio, quienes me han acompañado en este camino con su apoyo y colaboración constante, por sus consejos y amistad.

A mi familia, por su amor incondicional y su confianza en mis capacidades. Gracias por estar siempre presentes, ofreciéndome su comprensión y apoyo, especialmente en los momentos difíciles.

Por último, deseo agradecer a mis amigos por su ánimo y motivación, quienes siempre han creído en mí y me han ayudado a mantener la perspectiva durante todo este proceso.

A todos, muchas gracias.

## Resumen

La revalorización de subproductos agroindustriales como el salvado de arroz ha cobrado relevancia en la industria alimentaria debido a sus beneficios tanto nutricionales como funcionales. El salvado de arroz, subproducto de la molienda del grano, es una fuente rica en fibra dietética, proteínas, ácidos grasos esenciales, vitaminas y minerales. Tradicionalmente considerado como un residuo o destinado a usos limitados, su potencial para mejorar las propiedades tecnológicas y nutricionales de los alimentos ha permitido su incorporación en productos cárnicos procesados. Por otro lado, los productos cárnicos híbridos representan una tendencia emergente, combinando ingredientes de origen animal con componentes vegetales para ofrecer una alternativa más saludable, funcional y sostenible.

El objetivo principal de este trabajo fue revalorizar el salvado de arroz como un ingrediente potencial en la formulación de salchichas híbridas, tanto mediante la incorporación de sus proteínas extraídas como a través de su inclusión en forma integral.

Esta investigación se dividió en dos fases. En la primera etapa, se estudió la extracción de proteínas del salvado de arroz y la evaluación de sus propiedades funcionales para su posible aplicación en emulsiones cárnicas. La extracción se realizó mediante un tratamiento alcalino, obteniéndose un rendimiento del 22,20%, inferior al reportado en estudios previos. Los concentrados de proteína de salvado de arroz mostraron una capacidad de retención de agua y aceite de 2,5 y 4,7 g/g, respectivamente. La mayor solubilidad (64,39%), capacidad de formación de espuma (6,8%) y estabilidad (83%) se observaron a pH 11.

En la segunda fase, se formularon salchichas híbridas. Dado el bajo rendimiento de la extracción proteica, se utilizó aislado de proteína de arroz para reemplazar las proteínas cárnicas en proporciones de 60:40, 50:50 y 40:60. También se incorporó salvado de arroz, tanto entero como desgrasado, como fuente de fibra, con el objetivo de crear un producto híbrido que fuera fuente de fibra (3%) y enriquecido con fibra (6%).

Las propiedades reológicas de las emulsiones cárnicas se analizaron inmediatamente después de su preparación y tras 24 horas de reposo a 4°C, observándose un comportamiento predominantemente elástico ( $G' > G''$ ). Debido a la alta consistencia de la masa cárnica tras el reposo, se decidió embutir las salchichas inmediatamente y dejarlas reposar durante 24 horas a 4°C. Los análisis de rendimiento de cocción revelaron mejores resultados en las muestras que contenían fibra. Los análisis de perfil de textura (TPA) y de corte indicaron que las muestras con fibra presentaron los valores más altos de dureza, cohesividad y firmeza. Además, la adición de salvado de arroz afectó el color de las salchichas híbridas, reduciendo la luminosidad ( $L^*$ ) e incrementando los valores de  $a^*$  (enrojecimiento) y  $b^*$  (amarillez) en comparación con las salchichas híbridas sin salvado.

## Abstract

The valorisation of agro-industrial by-products such as rice bran has gained relevance in the food industry due to its nutritional and functional benefits. Rice bran, a by-product of grain milling, is a rich source of dietary fibre, proteins, essential fatty acids, vitamins, and minerals. Traditionally considered as waste or used for limited purposes, its potential to improve the technological and nutritional properties of food has led to its incorporation into processed meat products. On the other hand, hybrid meat products represent an emerging trend, combining animal-based ingredients with plant-based components to offer a healthier, more functional, and sustainable alternative.

The main objective of this study was to revalorize rice bran as a potential ingredient in the formulation of hybrid sausages, both through the incorporation of its extracted proteins and its inclusion in whole form.

This research was divided into two phases. In the first phase, the extraction of rice bran proteins was studied, and their functional properties were evaluated for potential application in meat emulsions. The extraction was carried out using an alkaline treatment, obtaining a yield of 22.20%, lower than previously reported studies. The rice bran protein concentrates showed water and oil retention capacities of 2.5 and 4.7 g/g, respectively. The highest solubility (64.39%), foaming capacity (6.8%), and stability (83%) were observed at pH 11.

In the second phase, hybrid sausages were formulated. Given the low protein extraction yield, rice protein isolate was used to replace meat proteins in proportions of 60:40, 50:50, and 40:60. Rice bran, both full and defatted, was also incorporated as a source of fibre, with the aim of creating a hybrid product that was a source of fibre (3%) and fibre-enriched (6%).

The rheological properties of the meat emulsions were analysed immediately after preparation and after 24 hours of resting at 4°C, showing predominantly elastic behaviour ( $G' > G''$ ). Due to the high consistency of the meat batter after resting, it was decided to stuff the sausages immediately and let them rest for 24 hours at 4°C. The cooking yield analysis revealed better results in the samples that contained fibre. The texture profile analysis (TPA) and cutting tests indicated that the fibre-containing samples showed the highest values of hardness, cohesiveness, and firmness. Additionally, the addition of rice bran affected the colour of the hybrid sausages, reducing the lightness ( $L^*$ ) and increasing the  $a^*$  (redness) and  $b^*$  (yellowness) values compared to hybrid sausages without rice bran.

## Resum

La revalorització de subproductes agroindustrials com la farinassa d'arròs ha guanyat rellevància en la indústria alimentària a causa dels seus beneficis tant nutricionals com funcionals. La farinassa d'arròs, subproducte de la molta del gra, és una font rica en fibra dietètica, proteïnes, àcids grassos essencials, vitamines i minerals. Tradicionalment considerat com un residu o destinat a usos limitats, el seu potencial per millorar les propietats tecnològiques i nutricionals dels aliments ha permès la seva incorporació en productes carnis processats. D'altra banda, els productes carnis híbrids representen una tendència emergent, combinant ingredients d'origen animal amb components vegetals per oferir una alternativa més saludable, funcional i sostenible.

L'objectiu principal d'aquest treball va ser revaloritzar la farinassa d'arròs com un ingredient potencial en la formulació de salsitxes híbrides, tant mitjançant la incorporació de les seves proteïnes extretes com a través de la seva inclusió en forma integral.

Aquesta recerca es va dividir en dues fases. En la primera etapa, es va estudiar l'extracció de proteïnes de la farinassa d'arròs i l'avaluació de les seves propietats funcionals per a la seva possible aplicació en emulsions carnis. L'extracció es va realitzar mitjançant un tractament alcalí, obtenint-se un rendiment del 22,20%, inferior al reportat en estudis previs. Els concentrats de proteïna de farinassa d'arròs van mostrar una capacitat de retenció d'aigua i oli de 2,5 i 4,7 g/g, respectivament. La major solubilitat (64,39%), capacitat de formació d'escuma (6,8%) i estabilitat (83%) es van observar a pH 11.

En la segona fase, es van formular salsitxes híbrides. Donat el baix rendiment de l'extracció proteica, es va utilitzar aïllat de proteïna d'arròs per substituir les proteïnes carnes en proporcions de 60:40, 50:50 i 40:60. També es va incorporar farinassa d'arròs, tant sencera com desgreixada, com a font de fibra, amb l'objectiu de crear un producte híbrid que fos font de fibra (3%) i un d'enriquit amb fibra (6%).

Les propietats reològiques de les emulsions carnes es van analitzar immediatament després de la seva preparació i després de 24 hores de repòs a 4 °C, observant-se un comportament predominantment elàstic ( $G' > G''$ ). A causa de la gran consistència de la massa carnosa després del repòs, es va decidir embotir les salsitxes immediatament i deixar-les reposar durant 24 hores a 4 °C. Els anàlisis de rendiment de cocció van revelar millors resultats en les mostres que contenien fibra. Els anàlisis del perfil de textura (TPA) i de tall van indicar que les mostres amb fibra presentaven els valors més alts de duresa, cohesivitat i fermesa. A més, l'addició de farinassa d'arròs va afectar el color de les salsitxes híbrides, reduint la lluminositat ( $L^*$ ) i augmentant els valors de  $a^*$  (enrogiment) i  $b^*$  (esgrogueïment) en comparació amb les salsitxes híbrides sense farinassa.

## Tabla de contenido

|  |           |
|--|-----------|
| <b>CAPÍTULO 1 - INTRODUCCIÓN .....</b>   | <b>1</b>  |
| 1.1 Subproductos agroindustriales como ingredientes para desarrollar nuevos alimentos .....                                      | 2         |
| 1.2 Salvado de arroz.....  | 3         |
| 1.2.1 Estabilización .....   | 4         |
| 1.2.2 Componentes del salvado de arroz.....  | 9         |
| 1.2.2.1 Aceite .....   | 9         |
| 1.2.2.2 Proteínas .....  | 17        |
| 1.2.2.3 Fibra dietética .....  | 28        |
| 1.3 Proteínas a base de plantas .....  | 31        |
| 1.3.1 Aplicaciones en la industria alimentaria .....   | 33        |
| 1.4 Emulsiones cárnicas .....  | 35        |
| 1.4.1 Salchichas.....  | 36        |
| 1.4.1.1 Preparación de salchichas.....   | 36        |
| 1.5 Productos cárnicos híbridos .....  | 39        |
| <b>CAPÍTULO 2 - OBJETIVOS.....</b>   | <b>43</b> |
| 2.1 Objetivo general .....   | 44        |
| 2.2 Objetivos específicos.....   | 44        |
| <b>CAPÍTULO 3 - MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>   | <b>45</b> |
| 3.1 Introducción al diseño experimental .....  | 46        |
| 3.2 Procedimiento experimental A: Extracción de proteínas del salvado de arroz y evaluación de sus propiedades funcionales. .... | 47        |
| 3.2.1 Material vegetal.....  | 47        |
| 3.2.2 Reactivos .....  | 47        |
| 3.2.3 Estabilización del salvado de arroz .....  | 47        |
| 3.2.4 Desgrasado del salvado de arroz .....  | 47        |
| 3.2.5 Características fisicoquímicas del salvado de arroz estabilizado .....   | 48        |
| 3.2.5.1 Humedad .....  | 48        |
| 3.2.5.2 Cenizas .....  | 49        |
| 3.2.5.3 Proteínas .....  | 49        |
| 3.2.5.4 Color.....   | 49        |
| 3.2.5.5 Capacidad de retención de agua (CRA) .....   | 50        |
| 3.2.5.6 Capacidad de absorción de aceite (CAAc).....   | 50        |
| 3.2.6 Precipitación y cuantificación de proteínas del salvado de arroz desgrasado .....  | 50        |
| 3.2.6.1 Tratamiento alcalino.....  | 51        |

|  |   |           |
|--|---|-----------|
| 3.2.6.2  | Cuantificación de proteínas por el método de Bradford.....  | 51        |
| 3.2.6.3  | Procedimiento de cuantificación .....   | 53        |
| 3.2.7  | Propiedades funcionales de las proteínas de salvado de arroz desgrasado.....  | 53        |
| 3.2.7.1  | Solubilidad de las proteínas.....   | 53        |
| 3.2.7.2  | Capacidad de absorción de agua (CAA) .....  | 54        |
| 3.2.7.3  | Capacidad de absorción de aceite (CAAc).....  | 54        |
| 3.2.7.4  | Capacidad de formación de espuma y estabilidad.....   | 54        |
| 3.3  | Procedimiento experimental B: Formulación y preparación de emulsiones cárnicas para la obtención de salchichas híbridas. .... | 55        |
| 3.3.1  | Materia prima .....   | 55        |
| 3.3.1.1  | Carne de pavo.....  | 55        |
| 3.3.1.2  | Grasas .....  | 55        |
| 3.3.1.3  | Aislado de proteína de arroz.....   | 57        |
| 3.3.1.4  | Harina de arroz integral.....   | 57        |
| 3.3.2  | Preparación de las formulaciones de emulsiones cárnicas para la obtención de salchichas híbridas.....                         | 58        |
| 3.3.2.1  | Composición aproximada.....   | 58        |
| 3.3.2.2  | Formulaciones de emulsiones cárnicas .....  | 58        |
| 3.3.2.3  | Análisis reológico de las emulsiones cárnicas.....  | 62        |
| 3.3.2.4  | Embutido y cocción de las salchichas híbridas .....   | 62        |
| 3.3.2.5  | Rendimiento de cocción .....  | 62        |
| 3.3.2.6  | Análisis de perfil de textura y corte.....  | 63        |
| 3.3.2.7  | Color.....  | 63        |
| 3.4  | Análisis Estadístico .....  | 63        |
| <b>CAPÍTULO 4 - RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b> |   | <b>64</b> |
| 4.1  | Experimento A: Extracción de proteínas del salvado de arroz y evaluación de sus propiedades funcionales .....                 | 65        |
| 4.1.1  | Características fisicoquímicas del salvado de arroz estabilizado .....  | 65        |
| 4.1.1.1  | Humedad .....   | 65        |
| 4.1.1.2  | Cenizas .....   | 65        |
| 4.1.1.3  | Proteína .....  | 66        |
| 4.1.1.4  | Grasa .....   | 66        |
| 4.1.1.5  | Capacidad de Retención de Agua (CRA).....   | 67        |
| 4.1.1.6  | Capacidad de Absorción de Aceite (CAAc).....  | 68        |
| 4.1.1.7  | Propiedades de Color .....  | 68        |
| 4.1.1.8  | Cuantificación de proteínas del salvado de arroz desgrasado .....   | 68        |

|  |           |
|--|-----------|
| 4.1.3 Propiedades funcionales de las proteínas extraídas del salvado de arroz desgrasado                             | 70        |
| 4.1.3.1 Solubilidad .....  | 70        |
| 4.1.3.2 Capacidad de formación de espuma y estabilidad.....  | 71        |
| 4.1.3.3 Capacidad de absorción de agua (CAA) y aceite (CAAc) .....   | 72        |
| 4.2 Experimento B: Formulación y preparación de emulsiones cárnicas para la obtención de salchichas híbridadas. .... | 72        |
| 4.2.1 Análisis reológico de las emulsiones cárnicas.....   | 73        |
| 4.2.2 Rendimiento de cocción .....   | 78        |
| 4.2.3 Análisis de perfil de textura (TPA) .....  | 81        |
| 4.2.3.1 Dureza .....   | 81        |
| 4.2.3.2 Cohesividad.....   | 82        |
| 4.2.3.3 Elasticidad .....  | 83        |
| 4.2.4 Corte .....  | 84        |
| 4.2.5 Color.....   | 87        |
| <b>CAPÍTULO 5 - CONCLUSIONES .....</b>   | <b>90</b> |
| <b>CAPÍTULO 6 - BIBLIOGRAFIA .....</b>   | <b>93</b> |

## Abreviaturas

|            |   |
|------------|---|
| a*         | Componente rojo-verde en el espacio de color CIE Lab    |
| AGL        | Ácidos grasos libres                                    |
| AGI        | Ácidos grasos insaturados                               |
| AGS        | Ácidos grasos saturados                                 |
| b*         | Componente amarillo-azul en el espacio de color CIE Lab |
| BSA        | Albumina de suero bovino                                |
| CAA        | Capacidad de absorción de agua                          |
| CAAc       | Capacidad de absorción de aceite                        |
| CRA        | Capacidad de retención de agua                          |
| FD         | Fibra dietética   |
| FDS        | Fibra dietética soluble                                 |
| FDI        | Fibra dietética insoluble                               |
| G'         | Módulo de almacenamiento                                |
| G''        | Módulo de pérdida                                       |
| L          | Luminosidad en el espacio de color CIE Lab              |
| SAD        | Salvado de arroz desgrasado                             |
| SAE        | Salvado de arroz entero                                 |
| TPA        | Análisis de perfil de textura                           |
| TRIS       | Tris (hidroximetil) aminometano                         |
| $ \eta^* $ | Viscosidad compleja                                     |



Índice de tablas

**Tabla 1.** Métodos para la estabilización del salvado de arroz, ventajas y desventajas..... 6

**Tabla 2.** Composición de ácidos grasos (% de ácidos grasos totales) obtenidas del aceite de salvado de arroz..... 10

**Tabla 3.** Métodos utilizados para la extracción del aceite de salvado de arroz y su correspondiente rendimiento. .... 15

**Tabla 4.** Contenido de proteínas, ventajas y desventajas de los métodos de extracción ..... 21

**Tabla 5.** Propiedades funcionales de la proteína de salvado de arroz. .... 25

**Tabla 6.** Uso, tipo de producto y función de salvado de arroz. .... 27

**Tabla 7.** Composición de aminoácidos de varias proteínas vegetales..... 34

**Tabla 8.** Parámetros del equipo ase 200® para el desgrasado del salvado de arroz..... 48

**Tabla 9.** Preparación de diluciones para la curva de calibración..... 52

**Tabla 10.** Perfil de ácidos grasos (%) de la grasa de coco de la empresa LIPSA..... 56

**Tabla 11.** Perfil de ácidos grasos del preparado “vegeliip” (grasa de karité 55% + aceite de girasol alto oleico 45%) de la empresa LIPSA ..... 57

**Tabla 12.** Composición aproximada de cada ingrediente para la elaboración de salchichas híbridas..... 58

**Tabla 13.** Formulaciones (%) de emulsiones cárnicas de salchichas híbridas, con proteínas de arroz como sustituto parcial de la carne y salvado de arroz como fuente de fibra dietética. .... 61

**Tabla 14.** Formulaciones expresadas en función del porcentaje de proteína cárnica y proteína de arroz, fibra y tipo de grasa..... 59

**Tabla 15.** Características fisicoquímicas del salvado de arroz entero y desgrasado ..... 66

**Tabla 16.** Propiedades funcionales de las proteínas extraídas del salvado de arroz desgrasado.71

**Tabla 17.** Resultados del análisis reológico de las emulsiones cárnicas ..... 76

**Tabla 18.** Rendimiento de cocción de las salchichas híbridas..... 80

**Tabla 19.** Análisis de perfil de textura (TPA) de las salchichas híbridas ..... 85

**Tabla 20.** Análisis de corte de las salchichas híbridas..... 86

**Tabla 21.** Parámetros de color en las salchichas híbridas. .... 89

**Índice de figuras**

**Figura 1.** Estructura de un grano de arroz (*oryza sativa*). ..... 3

**Figura 2.** Salvado de arroz ..... 4

**Figura 3.** Aceite de salvado de arroz. .... 13

**Figura 4.** Distribución de las proteínas en el grano de arroz (*oryza sativa*) ..... 17

**Figura 5.** Emulsión del tipo aceite en agua. Fuente: Emulsiones (orgfree.com)..... 36

**Figura 6.** Producto cárnico híbrido..... 42

**Figura 7.** Pasos para la extracción de proteínas del salvado de arroz desgrasado..... 52

# CAPÍTULO 1 - INTRODUCCIÓN



## 1.1 Subproductos agroindustriales como ingredientes para desarrollar nuevos alimentos

En los últimos años, la revalorización de subproductos agroindustriales se ha convertido en un tema de creciente interés mundial (Cozzano *et al.*, 2018). La agricultura es uno de los sectores industriales que mayor cantidad de residuos genera (Dahiya *et al.*, 2018; Reguengo *et al.*, 2022). La producción de alimentos de origen vegetal está asociada principalmente a cuatro tipos diferentes de cultivos: cereales, leguminosas, raíces y/o tubérculos. Los cereales ocupan el primer lugar con una producción en el año 2023 de 2.822 millones de toneladas según la FAO, siendo el trigo, el arroz y el maíz los principales (FAO, 2024).

El desarrollo de soluciones sostenibles para la gestión de subproductos agroindustriales representa uno de los principales retos de la sociedad. Estas soluciones deberían ser capaces de explotar los valiosos recursos que representan estos subproductos para lograr beneficios sociales, económicos y ambientales (Giroto *et al.*, 2015).

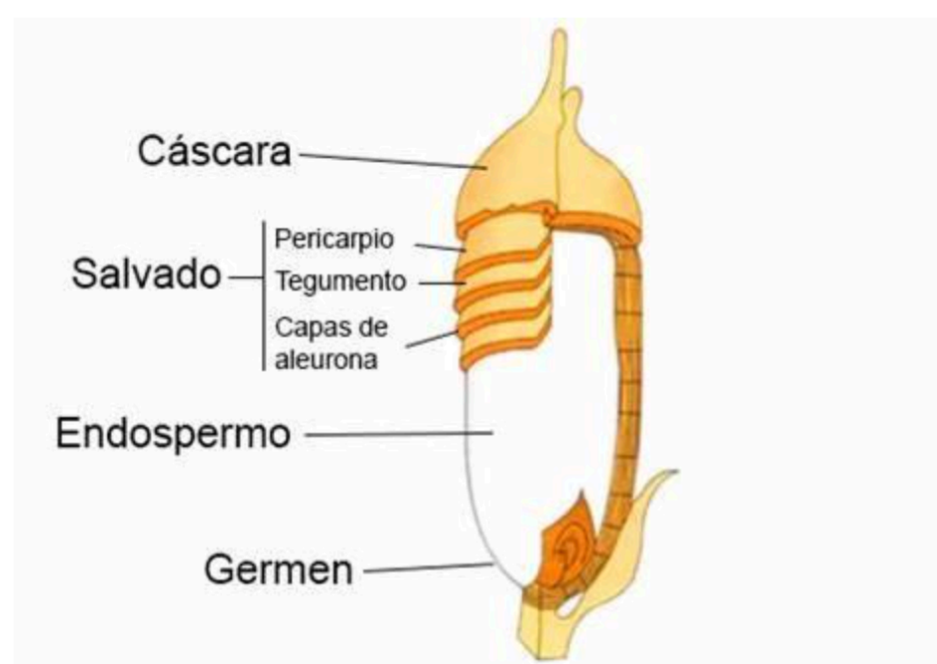
El término “*subproducto*” se refiere a cualquier producto resultante de un proceso de producción en el que su obtención no sea el objetivo principal (Reguengo *et al.*, 2022). El término “*subproductos alimentarios*” se utiliza cada vez más para señalar que los “residuos alimentarios” podrían considerarse como ingredientes que aporten fuentes naturales de numerosos compuestos bioactivos como vitaminas, proteínas, minerales, ácidos grasos, antioxidantes, fibra dietética y probióticos, entre otros, para el desarrollo de nuevos productos alimenticios (Cozzano *et al.*, 2018).

Uno de los subproductos importantes generados en la producción de arroz es el salvado. Aunque el principal subproducto es la cascarilla, la cual no tiene aplicaciones en la industria alimentaria, el salvado sí ofrece un alto potencial para este sector. Con una producción mundial de arroz estimada en 522,2 millones de toneladas para el año 2023, se generarían aproximadamente 100 millones de toneladas de salvado, lo que convierte su gestión en un desafío ambiental significativo (FAO, 2024).

Durante el procesamiento industrial del arroz (*Oryza sativa*), el primer paso consiste en la molienda que elimina las glumillas para obtener “arroz integral”, que se compone de pericarpio (2%), cubierta de semillas (tegumento), aleurona (5%), germen (2%-3%) y endospermo (89%-94%) (**Figura 1**) (Cozzano *et al.*, 2018; Delcour y Hoskeney, 2010). El arroz integral se somete a un proceso conocido como blanqueamiento que consiste en una serie de pulidos, llegando a un pulido más fino. Esto da como resultado una superficie brillante de la porción blanca comestible del grano (Arendt y Zannini, 2013; Cozzano *et al.*, 2018). Las cantidades resultantes de salvado de arroz durante el proceso de pulido varían ampliamente según el procedimiento en sí. Por lo

tanto, la composición del salvado de arroz varía según la severidad de la molienda, lo que da como resultado amplias variaciones en la composición de la mezcla de salvado y germen. El germen también es un subproducto que se produce durante el proceso de molienda en la producción de arroz blanco a partir de grano integral (Gul *et al.*, 2015).

La disponibilidad de salvado de arroz a nivel mundial es muy elevada, ya que el arroz es uno de los cereales más producidos en el mundo, después del maíz y el trigo (Cerisuelo, 2021). Este subproducto del procesamiento de arroz está compuesto por numerosos nutrientes y sustancias bioactivas. Por tanto, el salvado de arroz puede considerarse un buen candidato como ingrediente funcional sostenible de nuevos alimentos (Cozzano *et al.*, 2018).



**FIGURA 1.** ESTRUCTURA DE UN GRANO DE ARROZ (*ORYZA SATIVA*). FUENTE: ESCUELA AGRONOMICA.COM

## 1.2 Salvado de arroz

El salvado de arroz (**Figura 2**) no suele consumirse como alimento en sí debido a su alto contenido de fibra y su posible contaminación de la cáscara. También tiene una limitada aplicación alimentaria debido al rápido desarrollo de rancidez consecuencia de la activación de la lipasa en el salvado durante la molienda, que descompone los glicéridos en ácidos grasos. El desarrollo de técnicas de estabilización ha llevado al uso de un pequeño porcentaje de salvado de arroz como productos alimenticios comerciales. Sin embargo, la mayor parte del salvado de arroz se utiliza directamente como ingrediente en la alimentación animal o como combustible en calderas (Fabian y Ju, 2011)

Como se ha mencionado anteriormente, el salvado de arroz es un subproducto de la molienda del arroz y contiene proteínas, fibra cruda, lípidos, carbohidratos, orizanoles, compuestos fenólicos, ácidos grasos poliinsaturados y ácidos grasos monoinsaturados (Alauddin *et al.*, 2019). El valor



nutricional del salvado de arroz lo constituyen los carbohidratos, lípidos, proteínas, fibra, humedad y minerales respectivamente (Heredia-Olea *et al.*, 2020).



**FIGURA 2.** SALVADO DE ARROZ.

FUENTE: [WWW.MEDICINAPREVENTIVA.INFO/CARDIOLOGIA/28010/EL-SALVADO-DE-ARROZ-MEJORA-LA-VASODILATACION-Y-LAS-PROPIEDADES-ESTRUCTURALES-DE-LAS-ARTERIAS-POR-LINTERNISTA/](http://WWW.MEDICINAPREVENTIVA.INFO/CARDIOLOGIA/28010/EL-SALVADO-DE-ARROZ-MEJORA-LA-VASODILATACION-Y-LAS-PROPIEDADES-ESTRUCTURALES-DE-LAS-ARTERIAS-POR-LINTERNISTA/)

El salvado de arroz contiene; proteínas (17,50%), grasa (13,10%), fibra cruda (7,85%), fibra dietética insoluble (21,17%), fibra dietética soluble (2,17%), fibra dietética total (23,34%), carbohidratos (52,33%) y cenizas (4,92%) (Manzoor *et al.*, 2023).

La composición química del salvado depende de la variedad de arroz, el tratamiento del grano antes de la molienda, la tecnología de molienda utilizada, el grado de molienda y el procesamiento posterior del salvado, es decir, el fraccionamiento (Dunford, 2019).

### **1.2.1 Estabilización**

Sin embargo, aunque el salvado de arroz contenga una variedad de nutrientes, también contienen enzimas como las lipasas naturales que hidrolizan el aceite en glicerol y ácidos grasos libres (AGL), que le dan un sabor y olor rancio muy distintivo. Este proceso ocurre entre unas pocas horas y unos días después de la molienda (Sahini y Mutegoa, 2023; Wu *et al.*, 2020).

Durante la etapa de molienda la capa de salvado del endospermo se elimina, lo que provoca el rompimiento de las células y como consecuencia los lípidos se ponen en contacto con las enzimas lipasas hidrolizantes (Kim *et al.*, 2014). Las enzimas rompen los enlaces éster de ácidos grasos y liberan los ácidos grasos durante la hidrólisis, lo que aumenta los niveles de acidez. Después de la molienda, se especula que el nivel de ácidos grasos libres alcanza entre el 5% y el 7% en 24 h

(Dubey *et al.*, 2019). Por lo tanto, la inactivación enzimática para detener la producción de AGL es de suma importancia (Liu *et al.*, 2019).

Una estrategia para evitar que la enzima hidrolice los gliceroles y AGL es eliminar el aceite inmediatamente después de la obtención del salvado de arroz. Como alternativa, el salvado se puede estabilizar para conservar la mayor cantidad de nutrientes posible mientras se inactivan las enzimas lipasa (Sahini y Muteoga, 2023).

Según un artículo escrito por Sahini y Muteoga (2023) el salvado de arroz puede estabilizarse mediante varios tratamientos. En la **Tabla 1** se describen cuáles son sus ventajas y desventajas.

Yu *et al.* (2020) publicaron un artículo sobre la comparación de varios métodos utilizados para la estabilización del salvado de arroz. Se utilizaron seis métodos de estabilización que implican calentamiento y cinco métodos de estabilización que no implican calentamiento. El estudio encontró que la autoclave logró el mejor efecto estabilizador con una actividad lipasa mínima del 10,73%, mientras que otros métodos de tratamiento térmico retuvieron la actividad lipasa entre un 30% y un 35%, mientras que el calentamiento en seco retuvo la actividad en un 68,88%. Sin embargo, la actividad de la lipasa se mantuvo mediante técnicas sin calentamiento en más del 50%, siendo la irradiación ultravioleta la más prometedora.

De acuerdo con Lavanya *et al.* (2019), la técnica más popular para estabilizar el salvado de arroz es el tratamiento térmico, que se realiza a una temperatura superior a 120 °C para desnaturalizar las enzimas oxidantes dejando intactos los nutrientes.

TABLA 1. MÉTODOS PARA LA ESTABILIZACIÓN DEL SALVADO DE ARROZ, VI

| Métodos  | Descripción   | Ver  |
|--|---|--|
| <i><u>Métodos físicos</u></i>                          |   |  |
| <b>Almacenamiento/refrigeración a baja temperatura</b> | El almacenamiento del salvado a baja temperatura (0 °C) controla la actividad de la lipasa.   | No tiene nin<br>sobre los nu<br>disponibles. |
| <b>Tratamiento térmico</b>                             | La actividad de la lipasa puede desnaturalizarse por completo o inhibirse de forma reversible. Existe una variedad de métodos de tratamiento térmico. |  |
| <b>Calentamiento en seco</b>                           | Temperatura óptima 100–130 °C. Contenido de humedad reducido por aire   | Técnica                                      |



|                                     |   |  |
|-------------------------------------|---|--|
|                                     | caliente, por lo tanto, inactivación de lipasa  | Los potenciales de los extractos de rete   |
| <b>Calentamiento húmedo</b>         | Lipasa inactivada por vapor caliente.   | Inactivación por largo tiempo de almacenamiento, calentamiento, calentamiento, retención de nutrientes |
| <b>Calentamiento por microondas</b> | La energía de microondas se convierte en energía térmica, desnaturalizando las enzimas lipasas. | Fácil penetración, calentamiento, calentamiento uniforme. Biodisponibilidad de compuestos mejorada.    |
| <b>Calentamiento Óhmico</b>         | La corriente eléctrica alterna pasa y el salvado de arroz actúa como resistencia eléctrica,     | Calentamiento, Inactivación de la enzima lipasa, Mayor disponibilidad de compuestos                    |

|   |   |   |
|---|---|---|
|   | generando calor para inactivar la enzima lipasa.                                    | como $\gamma$ -orizos y tocoferoles.  |
| <b>Calentamiento por radiación infrarroja</b> | La radiación penetra en el material y se convierte en calor.                        | Versátil.<br>Respuesta rápida.<br>Eficaz para la inactivación de la lipasa.   |
| <b>Extrusión</b>                              | Inactivación mejorada por alta temperatura, presión y fuerza de corte.              | Alta eficiencia.<br>proceso rápido.<br>Nutrientes bien conservados.<br>antioxidantes naturales.<br>durante la inactivación. |
| <b>Método biológico</b>                       | Utiliza otra enzima como la proteasa para descomponer la enzima hidrolítica lipasa. | Permite la liberación selectiva de nutrientes.<br>enzimática.<br>nutricionales.<br>retenidos.                               |

Fuente: Sahini y Muteoga, (2023)

## 1.2.2 Componentes del salvado de arroz

### 1.2.2.1 Aceite

El contenido típico de aceite en el salvado de arroz varía entre el 10% y el 23%. Al igual que otros cereales y semillas oleaginosas, la composición química y de ácidos grasos del arroz varía sustancialmente según la variedad, las prácticas agronómicas y las condiciones ambientales (Dunford, 2019).

El aceite de salvado de arroz (**Figura 3**) es un nuevo tipo de aceite comestible con alto valor nutricional. El contenido de ácido oleico, ácido linoleico y ácido linolénico es superior al 80%. Además, el aceite también contiene cantidades significativas de  $\gamma$ -orizanol, tocoferoles, escualeno, fitosterol y otras sustancias bioactivas importantes, por lo que los nutricionistas lo conocen como “aceite nutricional para la salud” (Xu *et al.*, 2021).

En general, la composición de ácidos grasos saturados del salvado de arroz esta entre 19% y 35%. El ácido palmítico es el principal ácido graso saturado. Los ácidos grasos insaturados comprenden la mayoría de los ácidos grasos en el salvado de arroz (55% –87%). El ácido graso monoinsaturado, el ácido oleico, es el ácido graso insaturado más abundante (38 % –48 %), seguido del ácido graso poliinsaturado linoleico (16 % –36 %) (Dunford, 2019).

En una investigación realizada por Xu *et al.* (2021) se detectaron e identificaron catorce componentes principales de ácidos grasos, incluidos ocho ácidos grasos saturados, cuatro ácidos grasos monoinsaturados y dos ácidos grasos poliinsaturados (**Tabla 2**).

Además de la ventajosa composición de ácidos grasos, los componentes insaponificables del aceite de salvado de arroz también tienen un gran valor nutricional. El más importante es el  $\gamma$ -orizanol, que es un éster ferulado (ácido 4-hidrox-3 metoxicinámico) de alcoholes triterpénicos y esteroides vegetales. El contenido de  $\gamma$ -orizanol del aceite del salvado depende en gran medida del método de refinación. El aceite del salvado de arroz crudo tiene un contenido de  $\gamma$ -orizanol de alrededor del 1,8% al 2,2%, mientras que el aceite del salvado físicamente refinado contiene entre el 1,1% y el 1,7% (Lai *et al.*, 2019).

Como ya se ha explicado con anterioridad, el aceite de salvado de arroz tiene una composición equilibrada de ácidos grasos y altos niveles de ingredientes funcionales como orizanol, fitoesteroides, tocoferoles, tocotrienoles y otros nutrientes. Se ha demostrado que tiene efectos positivos sobre la modulación del colesterol, la hipertensión, la hiperglucemia, el insomnio y otras enfermedades crónicas. Las características únicas del aceite del salvado de arroz lo han hecho útil en una amplia aplicación de áreas que incluyen alimentos (para cocinar, freír, aderezo para

ensaladas y horneado, aplicación en alimentos funcionales), farmacéutica, cosmética e industrias (Wang, 2019b).

**TABLA 2.** COMPOSICIÓN DE ÁCIDOS GRASOS (% DE ÁCIDOS GRASOS TOTALES) OBTENIDAS DEL ACEITE DE SALVADO DE ARROZ.

| Ácidos Grasos                            | Porcentaje (%) |
|--|----------------|
| Ácido Mirístico (14:0)                   | 0,32           |
| Ácido Palmítico (16:0)                   | 19,87          |
| Ácido Palmitoleico (16:1)                | 0,20           |
| Ácido Margárico (17:0)                   | 0,05           |
| Ácido Esteárico (18:0)                   | 2,20           |
| Ácido Oleico (18:1)                      | 33,83          |
| Ácido Linoleico (18:2)                   | 38,26          |
| Ácido Linoleico (18:3)                   | 2,22           |
| Ácido Araquídico (20:0)                  | 0,73           |
| Ácido cis-11-eicosenoico (20:1)          | 0,62           |
| Ácido heneicosanoico (21:0)              | 0,07           |
| Ácido behénico (22:0)                    | 0,47           |
| Ácido erúcico (22:1)                     | 0,11           |
| Ácido lignocérico                        | 1,02           |
| Ácidos grasos saturados<br>totales       | 24,75          |
| Ácidos grasos<br>monoinsaturados totales | 34,76          |
| Ácidos grasos poliinsaturados<br>totales | 40,48          |

Fuente: Xu *et al.* (2021).

#### 1.2.2.1.1 Métodos de extracción de aceite de salvado de arroz

El aceite de salvado de arroz se puede extraer químicamente utilizando disolvente o mecánicamente mediante prensado hidrolítico. La extracción con solventes cubre una amplia gama de técnicas, incluida la extracción con solventes tradicionales, prensado mecánico (prensado en frío), extracción Soxhlet (Garba *et al.*, 2019), la extracción asistida por ultrasonido, extracción asistida por microondas, la extracción con fluidos supercríticos y la extracción asistida por enzimas (Garofalo *et al.*, 2021; Sahini y Mutegoa, 2023).

En la **Tabla 3** se muestran los diversos métodos utilizados para la extracción del aceite de salvado de arroz y su correspondiente rendimiento.

El hexano es el disolvente más común utilizado en la extracción de aceite de salvado de arroz. Además, tiene las mejores propiedades solubilizantes y un bajo punto de ebullición, y es relativamente menos costoso que otros solventes para la extracción de aceite de salvado de arroz (Garba *et al.*, 2019). Lakkakula *et al.* (2004) reportaron que el rendimiento de aproximadamente el 92% de aceite se obtuvo a partir del salvado de arroz estabilizado utilizando la extracción con hexano. Aunque el uso de hexano para la extracción se considera eficiente y más utilizado, tiene algunos inconvenientes (Amarasinghe *et al.*, 2008) porque es un solvente a base de petróleo, volátil, inflamable y peligroso para los humanos y para el medio ambiente (Balachandran *et al.*, 2008).

Por otro lado, están los disolventes no convencionales aplicados en la extracción de aceite de salvado de arroz que son el etanol, isopropanol, acetato de etilo y D-limoneno (Garofalo, Tommasi y Fino, 2021) que se han propuesto como disolventes alternativos para la extracción debido a su mayor seguridad (Patel y Naik, 2004; Zigoneanu *et al.*, 2008).

El prensado mecánico es tradicionalmente el método de extracción de aceite de semillas oleaginosas más popular a nivel mundial (Amarasinghe *et al.*, 2008; Garba *et al.*, 2019). El proceso es menos costoso y requiere menos mano de obra que el uso de métodos de extracción con solventes (Sayasoonthorn *et al.*, 2012; Uquiche *et al.*, 2008). Este método no implica tratamiento térmico o químico, lo que lo convierte en una alternativa interesante a las prácticas convencionales debido a la preocupación de los consumidores por un producto natural y seguro (Uquiche *et al.*, 2008). El prensado mecánico es de dos tipos, prensa de tornillo y prensa hidráulica (Garba *et al.*, 2019).

La extracción con solventes basada en Soxhlet es un medio principal para extraer aceites vegetales. Las semillas oleaginosas generalmente se trituran y se colocan en un lecho compacto que luego se expone directamente al solvente, lixiviando así el aceite de la matriz sólida al medio fluido (Dutta *et al.*, 2015).

Debido a su rápido aumento de temperatura, bajo consumo de energía y solventes y productos de alto rendimiento, la extracción asistida por microondas se considera un método de extracción prometedor para aceites y otras sustancias bioactivas (Soquetta *et al.*, 2018). Las microondas son ondas electromagnéticas formadas por campos eléctricos y magnéticos que oscilan perpendicularmente. La rotación de dipolos moleculares dentro de un material bajo la influencia de un campo electromagnético de alta frecuencia, como las microondas, da como resultado la producción de calor (Destandau *et al.*, 2013). Cuando se extraen compuestos de las plantas, el calor que se produce aumenta la presión que rompe las paredes celulares de las plantas, provocando que se produzca una transferencia de masa entre los disolventes y los compuestos que se extraen (Pandey y Shrivastava, 2018).

Es un método que utiliza ondas de ultrasonido tanto durante el pretratamiento como durante el procedimiento de extracción. El método es adaptable, versátil, fácil de usar, higiénico y ecológico (Tiwari, 2015). Cuando las ondas de ultrasonido atraviesan un material, crean una serie de compresiones y dilataciones, lo que induce la formación y el colapso de burbujas en el medio, un fenómeno llamado cavitación acústica (Sahini y Mutegoa, 2023). Este proceso provoca la alteración de las células y la penetración del disolvente, por lo tanto, facilita la transferencia de masa de los compuestos objetivo al disolvente (Chemat *et al.*, 2017).

La extracción con fluidos supercríticos es una técnica de separación en la que el disolvente utilizado para la extracción es un disolvente supercrítico. El método es apropiado para obtener productos químicos delicados e invaluables de fuentes vegetales (Tomita *et al.*, 2014). El proceso de extracción implica exponer la muestra a SC-CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono supercrítico) a una temperatura, presión y tiempo regulados para que los químicos deseados de las muestras se disuelvan en SC-CO<sub>2</sub>, y luego el fluido supercrítico se separa aún más ajustando la presión. Para facilitar el proceso de extracción, las características del fluido supercrítico se pueden cambiar ajustando la temperatura y la presión según los componentes específicos que se extraerán (Sookwong y Mahatheeranont, 2017).

La extracción acuosa asistida por enzimas se considera uno de los métodos de extracción de aceite de salvado de arroz más respetuosos con el medio ambiente. El método no requiere refinado posterior del aceite, por lo que minimiza los costos de procesamiento (Wang *et al.*, 2019a). En esta técnica, el medio de extracción constituye agua con enzimas seleccionadas. En ausencia de enzimas, el método es simplemente una extracción acuosa que, sin embargo, da un bajo rendimiento de aceite. Cabe destacar que el uso de agua como medio de extracción es mucho más económico, seguro y respetuoso con el medio ambiente. El medio acuoso también permite una separación simultánea de fosfolípidos (Yusoff *et al.*, 2015). En la extracción acuosa asistida por enzimas, los materiales que contienen aceite se tratan con enzimas que son capaces de degradar las paredes celulares en condiciones suaves. Al realizar una extracción asistida por enzimas, la selección de la enzima que se utilizará para la extracción debe tener en cuenta la composición de la pared celular de la materia prima (Puri, Sharma y Barrow, 2012).





**FIGURA 3.** ACEITE DE SALVADO DE ARROZ. FUENTE:

WWW.DIRECTOALPALADAR.COM.MX/INGREDIENTES-Y-ALIMENTOS/EL-ACEITE-DE-ARROZ-PROPIEDADES-Y-BENEFICIOS

#### **1.2.2.1.2 Aplicaciones del aceite de salvado de arroz en alimentos**

A diferencia del aceite de soja y el aceite de colza, que tienen sabores fuertes y agresivos que pueden cubrir el sabor natural de los alimentos, el aceite de salvado de arroz posee un sabor suave que puede utilizarse en diversas cocinas de todo el mundo. Otra característica única de este aceite es que al tener un elevado contenido de  $\gamma$ -orizanol, éste influye en la viscosidad. Por lo tanto, hace que el aceite de salvado de arroz tenga la viscosidad más alta entre los demás aceites, incluso superior a la del aceite de oliva extra virgen. Esto indica un rendimiento de aderezo muy bueno, especialmente en algunas cocinas internacionales y debido a su ya mencionada alta viscosidad, se puede retener fácilmente en la superficie de los alimentos, haciéndolos brillantes y apetitosos (Wang, 2019b).

El aceite de salvado de arroz también es utilizado para freír. La presencia de antioxidantes naturales como tocoferoles y  $\gamma$ -orizanol en el aceite puede disminuir la tasa de oxidación del aceite durante los períodos de fritura (Fan *et al.*, 2013). En comparación con otros aceites vegetales, los parámetros de calidad del aceite de salvado de arroz, incluido el índice de acidez, el índice de peróxido, los compuestos polares totales y el grado de polimerización, se demuestran por un incremento más lento al freír. Otra ventaja es que los alimentos se fríen más rápido y absorben menos aceite, pero también tienen una excelente calidad y estabilidad oxidativa (Choudhary y Grover, 2013). En cuanto al flavor, el aceite de salvado de arroz tiene un sabor dulce muy agradable al calentarlo, lo que podría atribuirse a la presencia de vainillina. La vainillina es uno

de los agentes aromatizantes más utilizados. La presencia de vainillina en el aceite podría deberse a la hidrólisis de orizanol en esteroides/alcoholes triterpénicos y ácido ferúlico. El ácido ferúlico es el precursor de la vainillina (Muheim y Lerch, 1999). Al mismo tiempo, el aceite de salvado de arroz produce menos sustancia de mal sabor (acroleína) que causa un sabor desagradable cuando se calientan los demás aceites vegetales (Wang, 2019b). Otra aplicación de se la da al aceite de salvado de es arroz es como aderezo para ensaladas y horneado.



**TABLA 3.** MÉTODOS UTILIZADOS PARA LA EXTRACCIÓN DEL ACEITE DE SALVADORA

| Método de extracción                  | Solvente         | Parámetros   |
|---------------------------------------|------------------|--|
| Extracción por solventes<br>(Soxhlet) | Hexano           | Temperatura<br>150 mL de solvente<br>de salvadora              |
|                                       | Etanol           | Temperatura<br>Tiempo  |
|                                       | Isopropanol      | Temperatura<br>3:1 relación<br>Tiempo                          |
|                                       | D-limoneno       | Temperatura<br>5:1 relación<br>Tiempo                          |
|                                       | Acetato de etilo | 150 ml de solvente<br>5g de salvadora<br>Temperatura<br>Tiempo |

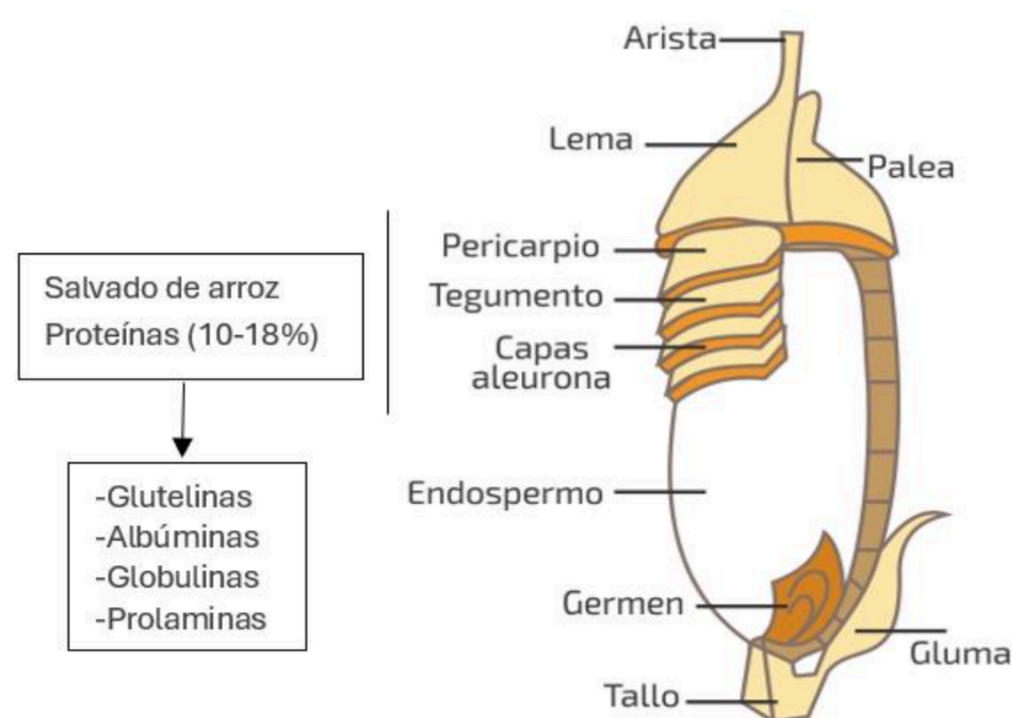
|   |             |   |
|---|-------------|---|
| <b>Prensado mecánico</b>                    |             | Pretratamiento de tor<br>Este método<br>tratamiento<br>quím |
| <b>Extracción asistida por microondas</b>   | Isopropanol | Temperatu<br>2,1<br>95<br>3:1 (C<br>Tiempo:                 |
| <b>Extracción asistida por ultrasonido</b>  | Agua        | 60k<br>Temperatu<br>1:10<br>Tiempo:<br>pH                   |
| <b>Extracción con fluidos supercríticos</b> | CO2         | 400<br>Temperatu  |
| <b>Extracción asistida por enzimas</b>      | Agua        | Temperatu<br>pH<br>Alca<br>Tiemp                            |

### 1.2.2.2 Proteínas

La proteína de salvado de arroz es apreciada debido a su hipoalergenicidad (Kalpanadevi *et al.*, 2021; Sharif *et al.*, 2013). Tiene un excelente perfil de aminoácidos, mayor contenido de lisina y treonina en comparación con la proteína del endospermo de arroz o cualquier otra proteína de salvado de cereal, lo que lo convierte en un ingrediente adecuado para formulaciones de alimentos infantiles (Kalpanadevi *et al.*, 2021). La calidad de la proteína se ha medido utilizando el índice de eficiencia de la proteína, métodos de balance de nitrógeno y puntuación de aminoácidos corregida por la digestibilidad de la proteína (Hu *et al.*, 2010; Kalpanadevi *et al.*, 2021; Millward *et al.*, 2008).

En cereales como el arroz, hay dos tipos de proteínas: las proteínas biológicamente activas (enzimas) y las proteínas biológicamente inactivas (proteínas de almacenamiento) (Fabian & Ju, 2011). El salvado de arroz tiene un interesante contenido proteico, conteniendo glutelina, albúmina, globulina y prolamina que constituyen las proteínas de almacenamiento (Rivero *et al.*, 2024). El contenido de proteínas puede variar según varios factores; su composición química, el lugar de cultivo, el riego, la fertilización, los factores ambientales y las condiciones de preprocesamiento (Najamuddin *et al.*, 2021).

El contenido de proteína cruda en el salvado de arroz varía de entre 10 a 18% y se encuentran en la capa de la cubierta de la semilla, como el pericarpio, el tegumento y la aleurona (**Figura 4**) (Cho, 2020).



**FIGURA 4.** DISTRIBUCIÓN DE LAS PROTEÍNAS EN EL GRANO DE ARROZ (*ORYZA SATIVA*)

FUENTE: [HTTP://MPPAPT.VZPLA.NET/EL-ARROZ/CRECIMIENTO-Y-DESARROLLO.PDF](http://mppapt.vzpla.net/el-arroz/crecimiento-y-desarrollo.pdf)

#### **1.2.2.2.1 Fracciones de proteínas**

Las principales fracciones proteicas del salvado de arroz se caracterizan por su solubilidad e incluyen albúmina, globulina, glutelina y prolamina.

La glutelina es la fracción principal de la proteína del arroz y su contenido oscila entre el 22,7 y el 40,25 % de la proteína total en el salvado de arroz (Cao *et al.*, 2009; Chanput *et al.*, 2009; Phongthai *et al.*, 2017). Esta proteína tiene una solubilidad limitada en agua debido a que sus moléculas están unidas por enlaces disulfuro extensos e interacciones hidrofóbicas, lo que puede explicar en parte la dificultad en la extracción de proteínas (Xia *et al.*, 2012). Es soluble por debajo de pH 3 y por encima de pH 10 (Phongthai *et al.*, 2017).

La albúmina del arroz representa aproximadamente del 2 al 6 % del total de proteínas de la semilla y aproximadamente el 35 % del salvado de arroz (Fabian y Ju, 2011). Esta proteína es soluble en agua y normalmente cuando se realiza la extracción de albúmina con agua siempre resulta en contaminación por globulinas debido a que los minerales presentes en el grano de arroz se disuelven en agua como solvente (Phongthai *et al.*, 2017). Las albúminas tienen el valor biológico y la biodisponibilidad más altos entre todas las fracciones, ya que el cuerpo las absorbe y utiliza fácilmente (Fabian y Ju, 2011).

Las globulinas de arroz, que son ricas en azufre, constituyen entre el 15 y el 26 % de la proteína de almacenamiento en el salvado. Esta proteína no contiene lisina, pero tiene cantidades moderadamente altas de cistina y metionina. Son fácilmente solubles en solución salina debido a la carga eléctrica neta que transportan (Fabian y Ju, 2011).

La prolamina es una proteína soluble en alcohol que se encuentra en el grano de arroz. Suele extraerse tras la eliminación de albúmina y globulina (Phongthai *et al.*, 2017). Esta proteína contiene sólo alrededor del 3,24-11,6% de la proteína total en el salvado de arroz (Cao *et al.*, 2009; Chanput *et al.*, 2009; Phongthai *et al.*, 2017). Puede extraerse con 70% de etanol o 50% de propanol. Debido a su muy bajo contenido y su capacidad de co-extracción en extracción alcalina, la prolamina generalmente no se centra en la consideración del disolvente o la condición de la extracción de proteínas.

#### **1.2.2.2.2 Extracción de proteínas de salvado de arroz**

La proteína obtenida del salvado de arroz necesita ser aislada mediante solubilización y precipitación para su posterior aplicación en el sector alimentario. Sin embargo, el salvado de arroz debe desgrasarse antes de la extracción de proteínas, estabilizarse mediante tratamiento térmico o reducirse el pH para la inhibición de la lipasa y las enzimas oxidativas (Amagliani *et al.*, 2017). La proteína de salvado de arroz se puede extraer mediante varios métodos, como la extracción alcalina, enzimática y física.

Debido a su rapidez, simplicidad y bajo costo, la extracción alcalina por precipitación isoelectrica es el método de extracción de proteínas más popular. Este método implica ajustar una suspensión de material vegetal a condiciones fuertemente alcalinas (pH 8-12) para solubilizar las proteínas. La materia insoluble restante puede eliminarse mediante sedimentación, centrifugación o filtración. Luego, la solución que contiene la fracción proteica soluble se ajusta al punto isoelectrico de las proteínas, lo que reduce la carga neta sobre ellas, disminuyendo así la repulsión electrostática entre ellas (Hadidi *et al.*, 2020). Consecuentemente, las proteínas tienden a agregarse entre sí y pueden recolectarse después de eliminarse la fase acuosa mediante sedimentación, centrifugación o filtración. Luego, las proteínas se pueden recolectar y convertir en polvo mediante tecnologías de secado por pulverización o congelación. Sin embargo, actualmente existen varios inconvenientes en este método para la producción a gran escala de ingredientes proteicos de alta calidad, incluidos bajos rendimientos, purezas deficientes, pérdida de funcionalidad y tiempos de operación prolongados (Hadidi *et al.*, 2023; Valenzuela *et al.*, 2013).

La solución alcalina es eficaz para solubilizar las proteínas del salvado de arroz porque el NaOH puede romper los enlaces de hidrógeno, amida y disulfuro en las proteínas (Hamada, 1997; Fabian y Ju, 2011). Cuando se utiliza una solución alcalina en la extracción de proteínas de salvado de arroz, el rendimiento de proteínas aumenta al aumentar el pH. No obstante, si se utiliza una condición extremadamente alcalina para la extracción de proteínas, puede afectar drásticamente las propiedades nutricionales y funcionales de la proteína, modificando y destruyendo algunos aminoácidos esenciales o creando residuos químicos tóxicos o reacciones secundarias indeseables (Kalpanadevi *et al.*, 2021). Para este método de extracción, también se ha empleado una combinación de disolventes (agua, solución de NaCl, alcohol acuoso y soluciones de NaOH) para solubilizar todas las fracciones de proteínas (Fabian y Ju, 2011).

El método enzimático para la extracción de proteínas ha demostrado ser menos severo, causando menos destrucción de aminoácidos e impacto ambiental en comparación con el método alcalino. Además, la hidrólisis enzimática puede mejorar las propiedades fisicoquímicas, funcionales y biológicas de las proteínas. Por estos motivos, el tratamiento enzimático con proteasas es la técnica más utilizada para producir péptidos bioactivos mediante hidrólisis de proteínas. Este método utiliza enzimas como proteasas o amilasas para romper las paredes celulares del salvado de arroz y liberar las proteínas. Sin embargo, este método puede resultar en un menor rendimiento de proteína y un mayor costo en comparación con otros métodos como los alcalinos y métodos físicos (Rivero *et al.*, 2024).

La industria alimentaria favorece la extracción física porque causa menos modificaciones, es económica y fácil de adaptar en comparación con los métodos alcalinos y enzimáticos. Los

principales métodos físicos utilizados para extraer proteínas del salvado de arroz desgrasado son los ultrasonidos y el agua subcrítica (Amagliani *et al.*, 2017; Rivero *et al.*, 2024).

El uso del método de ultrasonido para la extracción de proteínas del salvado de arroz fue descrito por Wang *et al.* (2021a). La modificación ultrasónica se basa en el principio de que las ondas ultrasónicas pueden generar vibraciones mecánicas entre las partículas del medio. Estas vibraciones liberan una cierta cantidad de energía, que puede desencadenar la interacción de partículas medianas para producir efectos térmicos, de cavitación y mecánicos (Kampert *et al.*, 1993). El efecto de cavitación, como aspecto clave del ultrasonido, produce fuertes microchorros y fuerzas de corte (Khadhraoui *et al.*, 2021). La tecnología ultrasónica ha sido ampliamente utilizada para modificar la estructura de las proteínas y sus propiedades funcionales. En el caso de Wang *et al.* (2021a), extrajeron las proteínas de salvado de arroz y luego disolvieron las proteínas extraídas en agua desionizada y el pH se ajustó a 9,0 usando NaOH 2,0 M. La temperatura de la solución se mantuvo por debajo de 20 °C usando recipientes de hielo. Se utilizó el generador de ultrasonido a una frecuencia de 20 KHz durante 10 y 20 min con potencias de 100 W y 200 W.

El método del agua subcrítica se puede utilizar para proporcionar altos rendimientos de proteínas (Kaewjumpol *et al.*, 2018). Este método puede conducir a modificaciones de proteínas, como la agregación o desagregación de proteínas y la liberación de aminoácidos. El método del agua subcrítica es agua en su forma líquida a una temperatura entre el punto de ebullición (100 °C) y el punto crítico (374 °C) bajo una presión lo suficientemente alta como para mantenerla en fase líquida. En estas condiciones, la extracción a alta temperatura puede provocar la degradación de compuestos termolábiles como los péptidos bioactivos. Además, la presión puede afectar la eficiencia de la extracción, ya que presiones extremadamente altas pueden causar interacción y agregación de moléculas, mientras que presiones bajas pueden resultar en un bajo rendimiento de extracción. Por tanto, el uso de este método requiere la optimización del proceso de extracción de proteínas (Amagliani *et al.*, 2017).

Es importante considerar que cada método de extracción tiene ventajas y desventajas, que influyen directamente en su uso. En la **Tabla 4** se resumen las principales ventajas y desventajas de cada método y el contenido de proteína obtenido con cada uno.

**TABLA 4.** CONTENIDO DE PROTEÍNAS, VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS MÉTODOS DE EXTRACCIÓN DE PROTEÍNAS.

| Método de extracción                | Contenido de proteínas (%) | Ventajas  | Desventajas  | Referencias                        |
|-------------------------------------|----------------------------|---|--|------------------------------------|
| <i>Alcalina</i>                     | 80,50                      | Técnica sencilla  | Tiempo prolongado.   | (Zhang <i>et al.</i> , 2022)       |
|                                     |                            | Bajo costo  | Gran cantidad de Buffer                                    | (Fathi <i>et al.</i> , 2021)       |
|                                     | 64,49                      |   |  | (Singh, Siddiqi y Sogi, 2021)      |
|                                     | 72,20                      |   |  |                                    |
|                                     | 87,00                      |   | Afecta nutricional y funcionalmente a las proteínas        | (Kalpanadevi <i>et al.</i> , 2021) |
|                                     | 67,59                      |   |  | (Singh, Karmakar y Banerjee, 2019) |
| <i>Enzimático</i>                   | 63,49                      | Menos eliminación de aminoácidos  | Alto costo   | (Fathi <i>et al.</i> , 2021)       |
|                                     | 69,61                      | Reducción del impacto ambiental<br>Mejoramiento de las propiedades funcionales y biológicas | Bajo rendimiento de extracción                             | (Ling <i>et al.</i> , 2019)        |
| <i>Físico</i><br><b>Ultrasonido</b> | 89,53                      | Causa menos modificaciones.   | Limitación a escala de laboratorio.                        | (Wang <i>et al.</i> , 2021a)       |
|                                     | 71,13                      | Técnica fácil<br>Ayuda a aislar componentes intracelulares.                                 | Debe estar hecho a medida para su uso a escala industrial. | (Fathi <i>et al.</i> , 2021)       |
|                                     |                            | Modifica la viscosidad  | Alto costo de implementación en la industria               | (Rivero <i>et al.</i> , 2024)      |
|                                     | 72,80                      | Mejora las funcionalidades<br>Procesamiento no térmico                                      |  |                                    |



|                        |       |   |  |                              |
|------------------------|-------|---|--|------------------------------|
| <b>Agua subcrítica</b> | 17,31 | Mejora la desagregación de proteínas<br>Mejora la liberación de aminoácidos | Requiere control de presión y temperatura<br>El rendimiento de proteínas depende de la optimización del proceso<br>Degradación de componentes termolábiles | (Chaisuwan y Supawong, 2022) |
|------------------------|-------|---|--|------------------------------|

Fuente: Rivero *et al.* (2024)

**1.2.2.2.3 Propiedades funcionales de las proteínas de salvado de arroz**

Actualmente, el procedimiento más utilizado para la extracción de proteínas del salvado de arroz es el método alcalino (Paraman, Hettiarachchy y Schaefer, 2008; Zhang *et al.*, 2012). Este método tiene una alta capacidad de extracción para salvado de arroz no estabilizado térmicamente, pero baja proteína extraída para el salvado de arroz estabilizado debido a la desnaturalización de la proteína. El alto valor nutricional del salvado de arroz y la alta calidad de la proteína del salvado de arroz han atraído un interés comercial considerable (Zhu *et al.*, 2017). El contenido de lisina de la proteína de salvado de arroz es aproximadamente del 3 al 4 %, y el perfil general de aminoácidos es superior al presente en otras proteínas de cereales, y también se puede utilizar en formulaciones de alimentos infantiles por sus propiedades hipoalergénicas (Han, Chee y Cho, 2015; Zhu *et al.*, 2017).

A pesar de tener muchos atributos nutricionales beneficiosos, la proteína de salvado de arroz todavía no se usa ampliamente debido en gran parte a sus pobres propiedades funcionales, que limitan gravemente su aplicación comercial en la industria alimentaria (Zhu *et al.*, 2017).

Los diferentes métodos de extracción de proteína del salvado de arroz pueden afectar la funcionalidad de las proteínas, por eso es importante tenerlos en cuenta ya que las propiedades funcionales, son indispensables en diversos procesos agroalimentarios debido a su capacidad para proporcionar funciones de calidad y estabilidad (Rivero *et al.*, 2024).

Las propiedades funcionales de la proteína de salvado de arroz pueden verse influenciadas por los métodos de extracción, las propiedades de la superficie, las propiedades de hidratación, la estructura, el tamaño molecular y las condiciones de procesamiento. Las propiedades de la superficie incluyen la capacidad de emulsificación y formación de espuma, mientras que las



propiedades de hidratación incluyen la capacidad de absorción de agua, la capacidad de absorción de aceite y la solubilidad (Li, Wu y Wu, 2021; Rivero *et al.*, 2024).

La solubilidad es un parámetro importante que impulsa la funcionalidad de las proteínas y puede usarse para evaluar el grado de agregación de proteínas. Las interacciones proteína-proteína y proteína-disolvente contribuyen a la solubilidad de las proteínas. La interacción proteína-proteína está asociada a la interacción hidrofóbica que conduce a la precipitación, mientras que la interacción proteína-solvente facilita la solubilidad e hidratación de las proteínas. Otros factores como el pH, el tratamiento post-extracción y la clasificación de los granos procesados pueden influir en la funcionalidad de la proteína de salvado de arroz (Singh, Siddiqi y Sogi, 2021).

Singh y Sogi (2018) analizaron la influencia del pH (2.0, 4.0, 6.0, 8.0, 10.0 y 12.0) en el comportamiento de la solubilidad de la proteína de salvado de arroz obtenida de granos de arroz clasificados en superfino, fino, y grueso. Los resultados mostraron que el pH influyó en el perfil funcional. Se observó una solubilidad mínima (7,5–8,9%) a pH 4,0 y una solubilidad máxima (78,7–83,1%) a pH 10,0. Además, la solubilidad proteica del salvado de arroz fino en el rango de pH 2,0 a 12,0 mostró contenidos más altos (8,4–83,1%), seguido del salvado de arroz grueso (7,8–79,2%) y el salvado de arroz superfino.

El aumento de la solubilidad de las proteínas podría deberse a péptidos moleculares más pequeños y al despliegue de la molécula de proteína. A pH extremadamente ácidos y alcalinos, las proteínas transportan cargas netas positivas y negativas, respectivamente, y por lo tanto la repulsión electrostática y la hidratación iónica promueven la solubilización de la proteína (Yeom *et al.*, 2010). La solubilidad de los aislados de proteína de arroz en agua es mínima a pH 4,0 y aumenta gradualmente por debajo de 4,0 y por encima de 6,0. La solubilidad máxima de la proteína de arroz se observó a pH 10 (Wang *et al.*, 1999; Phongthai *et al.*, 2017).

La capacidad de formación de espuma es una propiedad funcional básica de las proteínas. Para tener una alta capacidad espumante las proteínas deben solubilizarse y absorberse rápidamente en la interfaz aire-agua durante el batido antes de sufrir cambios y reorganizaciones rápidos de conformación o formar una capa cohesiva en la interfaz, y luego reducir repentinamente la tensión de la interfaz (Yeom *et al.*, 2010). Esto requiere moléculas de proteína flexibles con pocas estructuras secundarias y terciarias (Chittapalo y Noomhorm, 2009) ya que la cohesividad y elasticidad intermolecular son importantes para producir espumas estables (Tang *et al.*, 2002). Por tanto, el concentrado o aislado de proteína de arroz podría conservar su estabilidad espumante mejor que su forma hidrolizada. El aumento de la solubilidad de las proteínas por proteólisis aumentaría la capacidad espumante. Sin embargo, la hidrólisis extensa puede reducir la formación de espuma debido a una carga excesiva que impide la formación de espuma estable (Zhang *et al.*, 2012).

La actividad y la estabilidad de la emulsión se utilizan como indicadores de las propiedades de emulsificación de las proteínas. La actividad de la emulsión refleja la capacidad del complejo para producir una capa emulsionada en la interfaz aceite-agua. Mientras que la estabilidad de la emulsión refleja la estabilidad de la emulsión producida por el complejo y la proteína (Wu, Li y Wu, 2020). Las emulsiones normalmente se forman debido a la presencia de grupos hidrófobos e hidrófilos en las estructuras de las proteínas. Los mecanismos para generar el sistema de emulsión se atribuyen a (1) la difusión de péptidos en las interfaces aceite-agua, (2) y la adsorción de péptidos en la superficie de gotas de aceite recién formadas, y (3) luego la formación de una membrana protectora que inhibe la coalescencia de la gota de aceite (Klompong *et al.*, 2007).

El aumento del pH después del pH isoelectrico se ha atribuido a la formación de capas cargadas alrededor de las gotas de aceite, lo que causó repulsión mutua y/o la formación de una capa hidratada alrededor del material interfacial, lo que reduce la energía interfacial y retarda la coalescencia de las gotas (Lawal *et al.*, 2007). La pobre propiedad emulsionante de la proteína del arroz (principalmente glutelina) se ve afectada por su baja solubilidad y alto peso molecular. Además, las proteínas que no son solubles en sistemas acuosos y poseen una gran cantidad de enlaces disulfuro son malos emulsionantes (Romero *et al.*, 2012).

La capacidad de retención de agua y de aceite están influenciadas por el grado de oxidación. Li *et al.* (2020) evaluaron la funcionalidad de la glutelina del salvado de arroz en diferentes tiempos de almacenamiento (0, 1, 3, 5 y 10 días). Los autores observaron una reducción en la capacidad de retención de agua y petróleo durante el almacenamiento. Las capacidades de retención de agua y aceite fueron mayores a 1 día de almacenamiento (121 y 435 g/100 g, respectivamente) y menores a 10 días de almacenamiento (15 y 68 g/100 g, respectivamente). Después de 1 día de almacenamiento, una modificación oxidativa de la proteína de salvado de arroz estimuló el desarrollo parcial de la proteína, aumentando la exposición de los grupos hidrófilos en la interfaz agua-proteína y, en consecuencia, mejorando la capacidad de retención de agua de la glutelina del salvado de arroz. Las variaciones en la capacidad de retención de agua y aceite de la proteína de salvado de arroz pueden estar relacionadas con la distribución alterada de grupos hidrófilos e hidrófobos en la superficie de la proteína (Rivero *et al.*, 2024). En la **Tabla 5** se muestran las propiedades funcionales de las proteínas de salvado de arroz.

**TABLA 5.** PROPIEDADES FUNCIONALES DE LA PROTEÍNA DE SALVADO DE ARROZ.

| Propiedades funcionales                 | Resultados  | Referencias                      |
|---|---|----------------------------------|
| Solubilidad                             | La solubilidad máxima del nitrógeno a pH 10 y 12 fueron 82 y 80%.   | (Wang <i>et al.</i> , 1999)      |
|   | Máxima solubilidad de 60% a pH 11.  | (Pincirolí <i>et al.</i> , 2009) |
|   | Máxima solubilidad de 72,5 y 84,56% a pH 11.  | (Zhang <i>et al.</i> , 2012)     |
| Capacidad de formación de espuma        | Rango de capacidad de formación de espuma entre 40-90%, estabilidad de la espuma de 30-90 min.                      | (Yeom <i>et al.</i> , 2010)      |
|   | La capacidad espumante fue más del 60% a pH 11.   | (Cao <i>et al.</i> , 2009)       |
| Capacidad emulsificante                 | Máxima capacidad emulsificante de 0,149 y 0,634 y la máxima estabilidad de la emulsión fueron de 24,26 y 25,95 min. | (Zhang <i>et al.</i> , 2012)     |
| Capacidad de absorción de agua y aceite | La absorción de agua fue de 3,71 y 4,4 g/g y la absorción de aceite de 4,24 y 5,13 g/g.                             | (Zhang <i>et al.</i> , 2012)     |

Fuente: Phongthai *et al.* (2017).

#### 1.2.2.2.4 Aplicaciones de la proteína de salvado de arroz en los alimentos

Las proteínas del arroz son adecuadas para una amplia gama de aplicaciones alimentarias industriales. Puede usarse para productos de panadería, batidos para coberturas y salchichas, etc. debido a su alta capacidad de retención de agua y aceite, lo que ayuda a reducir la pérdida de humedad y mantener una sensación suave en la boca. Además, pueden formar una base excelente para los sistemas alimentarios con alto contenido de azúcar, como masas para pasteles, postres helados y dulces (Cao *et al.*, 2009; Phongthai *et al.*, 2017).

Al ser hipoalergénico, es un ingrediente adecuado para formulaciones de alimentos infantiles y para dietas restringidas de niños y adultos con alergias alimentarias (Phongthai *et al.*, 2017). Además, el tratamiento con proteasas se ha utilizado para mejorar la solubilidad de los hidrolizados de proteínas y modificar sus propiedades fisicoquímicas y funcionales (Xia *et al.*, 2012) antes de aplicarlos a productos adecuados. También se utiliza en sopas, salsas, jugos, productos cárnicos y otras aplicaciones saladas (Fabian y Ju, 2011). En la **Tabla 6** se muestran el uso, tipo de producto y función de la proteína de salvado de arroz.

**TABLA 6.** USO, TIPO DE PRODUCTO Y FUNCIÓN DE SALVADO DE ARROZ.

| Muestra                                     | Producto                     | Uso          |
|---|------------------------------|--------------|
| Aislado de proteína de salvado de arroz     | Fideos de arroz              | 10%          |
| Concentrado de proteína de salvado de arroz | Galleta libre de gluten      | 15%          |
| Salvado de arroz                            | Hamburguesa híbrida de pollo | 0, 2, 4, 8%. |

Fuente: Adaptado de Phongthai *et al.* (2017).

### 1.2.2.3 Fibra dietética

La fibra dietética (FD), se caracteriza como el componente polimérico comestible de las plantas a base de carbohidratos, resiste la digestión y la absorción en el intestino delgado humano mientras sufre una fermentación completa o parcial en el intestino grueso (Bangoura *et al.*, 2013; Zhang *et al.*, 2024). Pueden clasificarse como solubles o insolubles según su solubilidad en agua (Tian *et al.*, 2022).

Las fibras dietéticas solubles (FDS) son la pectina, la inulina, los  $\beta$ -glucanos y otros polisacáridos, mientras que, las fibras dietéticas insolubles (FDI) incluyen la celulosa, las hemicelulosas, la lignina y el almidón resistente (Bashir *et al.*, 2022).

La fuente de suplementos de fibra dietética procede principalmente de subproductos del procesamiento de cereales, por ejemplo, trigo, maíz, sorgo y otros salvados de cereales, y los suplementos de fibra dietética que se han utilizado ampliamente para la producción de varios alimentos (Ren *et al.*, 2021), debido a que la FD también posee muchas funcionalidades tecnológicas, como capacidad de retención de agua, capacidad de retención de aceite, propiedades espesantes y emulsionantes, que han llevado a sus usos potenciales como regulador y aditivo en la industria alimentaria (Wen *et al.*, 2017).

Varios estudios han demostrado el impacto positivo de la fibra dietética en la salud humana. Por ejemplo, podría mejorar la función gastrointestinal, reducir el índice glucémico posprandial y disminuir el riesgo de muchas otras enfermedades a largo plazo como las enfermedades cardiovasculares y el cáncer de colon (Kovatcheva-Datchary *et al.*, 2015; Ren *et al.*, 2021). Anderson *et al.* (2009) informaron que el aumento de la ingesta de fibra dietética reduce la presión arterial y los niveles de colesterol sérico, mejora la glucemia y la sensibilidad a la insulina en personas diabéticas y no diabéticas. Guillon y Champ (2000) también concluyeron que la fibra dietética ha sido aceptada en la prevención y el tratamiento de enfermedades en la sociedad occidental; ejerce su efecto fisiológico directo en todo el tracto gastrointestinal además de afectar las actividades metabólicas. Estos mecanismos de acción están relacionados con sus propiedades físico-químicas y su fermentación en el intestino grueso (Daou y Zhang, 2014).

De manera sencilla, las fibras solubles son fibras viscosas o fermentables (como la pectina) que se fermentan en el colon, y las fibras insolubles, como el salvado de cereales, que tienen una acción en el volumen fecal pero que sólo pueden fermentarse en un grado limitado en el colon (Anderson *et al.*, 2009). Según la Sociedad Española de Dietética y Ciencias de la Alimentación, los requerimientos de fibra diarios giran en torno a 25-35 gramos (SEDCA, 2019).

El componente principal del salvado de arroz es la fibra dietética y representa aproximadamente el 30% del peso total, de la cual la fibra dietética insoluble representa entre el 25% y el 27% del peso total del salvado de arroz (Sharif *et al.*, 2013; Daou y Zhang, 2014; Bhosale y Vijayalakshmi, 2015; Silventoinen *et al.*, 2019). Según un estudio realizado por Daou *et al.* (2014), La

composición de la fibra dietética en el salvado de arroz desgrasado fue de; 33% de fibra dietética total (FDT), 30,2% de FDI y 3% de FDS. La fibra dietética (FD) de salvado de arroz incluyen celulosa, hemicelulosa, lignina y sustancias pécticas (Chinma *et al.*, 2015; Ren *et al.*, 2021). Del total de la fibra dietética en el salvado de arroz desgrasado, la FDI fue de 94%, celulosa 33%, hemicelulosa 55%, lignina 6% y FDS 6% (Daou y Zhang, 2014).

En comparación con la FDI, la FDS tiene una mayor capacidad para promover la viscosidad, formar geles y actuar como emulsionante debido a su solubilidad (Abdul-Hamid y Luan, 2000). El problema de la fibra dietética es que cuando se complementa en productos alimenticios afecta negativamente en el color, la textura y el sabor (Robin, Schuchmann y Palzer, 2012). Ma *et al.* (2023) estudiaron la fibra dietética del arroz integral y mencionaron que, a pesar del alto valor nutricional del arroz integral, la presencia de la capa de salvado da como resultado un tiempo de cocción prolongado, una alta dureza y una mala masticabilidad de los productos de arroz integral. Esto redujo en gran medida la calidad sensorial del arroz integral y limitó el desarrollo y aplicación del arroz integral en la industria. Por lo tanto, es particularmente importante retener la mayor cantidad de nutrientes posible y al mismo tiempo garantizar la calidad comestible del arroz integral. Debido a las cualidades sensoriales indeseables que provoca la FD y la FDI, se han realizado muchos esfuerzos para modificarlas a modo de mejorar las propiedades fisicoquímicas y las funcionalidades tecnológicas (Wen *et al.*, 2017). Los métodos para la mejora incluyen principalmente técnicas físicas, químicas y biológicas. Algunas de las técnicas de procesamiento biológico y físico, como la germinación, la fermentación y la extrusión se valoran por su capacidad para mejorar el color y el sabor de los productos alimenticios al tiempo que retienen más nutrientes de los cereales (Ma *et al.*, 2023). La fermentación se conoce como un proceso biotecnológico que se ha utilizado para mejorar la vida útil. Tiene un potencial significativo para mejorar los efectos nutricionales de los alimentos e ingredientes (Coda *et al.*, 2015; Ren *et al.*, 2021). El bioprocesamiento enzimático incluye el uso de enzimas para solubilizar la FD y modificar en general la compleja estructura de las paredes celulares y es uno de los enfoques más estudiados para mejorar la funcionalidad nutricional y tecnológica del salvado (Coda *et al.*, 2015; Anson *et al.*, 2009). Según una investigación realizada por Qi *et al.* (2019), el tratamiento de germinación (humedad >90%; temperatura:  $30 \pm 3$  °C) no sólo aumentó el contenido de FDS del arroz integral, sino que también mejoró las propiedades funcionales de la fibra dietética debido a la exposición de grupos más activos (Ma *et al.*, 2023). Choi *et al.* (2008) descubrieron que las propiedades de absorción de agua de la FDI mejoraron después de que el arroz se cocinara por extrusión con un 25% de humedad de alimentación, una velocidad de tornillo de 200 rpm y una temperatura del barril de 130 °C (Ma *et al.*, 2023).



### 1.2.2.3.1 Propiedades fisicoquímicas de la fibra dietética

Las propiedades fisicoquímicas de la fibra dietética son; capacidad de retención de agua (CRA), capacidad de hinchamiento del agua (CHA) y capacidad de adsorción de aceite (CAAc, siglas en inglés) están sujetos a influencias que emanan de diversos factores.

La CRA es un parámetro que indica la eficacia con la que la FD puede retener agua bajo influencias externas como la fuerza centrífuga (Lan *et al.*, 2012). La CHA cuantifica el volumen total de agua absorbido por la FD cuando se sumerge en un exceso de agua para alcanzar el equilibrio (Zhang *et al.*, 2024) y el OAC implica mezclar una muestra con exceso de aceite, centrifugar la dispersión y luego calcular la cantidad de aceite absorbido (Wang *et al.*, 2020).

Un estudio realizado por Zhang *et al.* (2024), dividió el salvado de arroz negro en cinco fracciones iguales de salvado (BF) mediante molienda gradual para obtener BF1 (capa más externa) a BF5 (la capa más interna) e investigaron las propiedades fisicoquímicas de la fibra dietética en cada fracción de salvado. Los resultados revelaron que las fracciones externas de salvado (BF1-BF3) específicamente la FDI, exhibieron mayor hinchamiento de agua, retención de agua, capacidad de adsorción de aceite que las de las fracciones internas de salvado (BF4-BF5). Por lo tanto, el grado de molienda influye en las propiedades fisicoquímicas de la FD.

El almidón es el principal almacenamiento de carbohidratos en los granos de cereales y está formada por una cadena de moléculas de glucosa unidas en enlaces covalentes. El almidón del salvado de arroz es el almidón remanente del endospermo en el proceso de molienda del arroz (Zhuang *et al.*, 2019).

Generalmente, el almidón está compuesto de amilosa y amilopectina. Todas son moléculas poliméricas de unidades de D-glucosilo unidas entre sí mediante enlaces glicosídicos. La amilosa es lineal, formada por enlaces glicosídicos R-1,4, y la amilopectina es altamente ramificada a través de enlaces glicosídicos R,1-4 y R,1-6 (Akoh *et al.*, 2008). El salvado de arroz desgrasado contiene 34,2% de almidón (incluido 29,8% de almidón digerible y 4,4% de almidón resistente) (Beloshapka *et al.*, 2016).

En el salvado de arroz, también hay muchos carbohidratos sin almidón, como monosacáridos, oligosacáridos y polisacáridos. Los polisacáridos no amiláceos (PNA), el almidón resistente y los oligosacáridos componen los principales ingredientes de la fibra dietética total en la mayoría de las especies de cereales. En general, se considera que los PNA tienen efectos antinutricionales debido a sus propiedades viscosas, que interfieren con la digestión y absorción de nutrientes (Choct y Annison, 1992; Zhuang *et al.*, 2019).

### 1.3 Alimentos proteicos a base de plantas

La proteína es un macronutriente esencial en la dieta para obtener diversos beneficios importantes en el mantenimiento del bienestar nutricional humano. Es un componente integral de las células y posee un papel importante en el crecimiento y desarrollo, la función celular, la respuesta inmune y el mantenimiento de la masa muscular y las funciones metabólicas (Devries y Phillips, 2015). También ayuda a reparar el daño tisular y a combatir la desnutrición causada principalmente por la deficiencia de proteínas en los bebés (Jadhav *et al.*, 2024). Una proteína de alta calidad proporciona una cantidad adecuada de aminoácidos esenciales que pueden digerirse y utilizarse fácilmente para la síntesis de proteínas (Kumar *et al.*, 2022).

En los últimos tiempos, ha aumentado el interés de los consumidores sobre la relación entre el consumo de alimentos y sus beneficios para la salud, lo que se ha convertido en una fuerza impulsora de la creciente demanda de proteínas de origen vegetal (Jadhav *et al.*, 2024). Las plantas aportan la mayor parte de la cadena de suministro de proteínas a nivel mundial, es decir, el 65 %, detallando que el 47 % y el 8 % lo aportan los cereales y las semillas oleaginosas, respectivamente (Jadhav *et al.*, 2024; Wu *et al.*, 2014). Se prevé que la demanda de proteínas aumentará en los próximos años y es probable que las proteínas de origen vegetal surjan como una fuente sostenible de proteínas y encuentren numerosas aplicaciones en el sector alimentario (Kumar *et al.*, 2022).

Aunque las proteínas de origen vegetal son relativamente más abundantes y baratas que las proteínas animales, el uso directo de proteínas de origen vegetal todavía es limitado. Las proteínas vegetales se utilizan como alimento para animales para producir proteínas animales como carne, huevos y leche. Sin embargo, la conversión de proteínas de origen vegetal en proteínas animales es ineficiente y representa aproximadamente solo el 3% de las proteínas vegetales transformadas en proteínas animales (Shepon *et al.*, 2016). Además, en comparación con las proteínas animales, las proteínas vegetales tienen un menor contenido de ciertos aminoácidos esenciales como isoleucina, lisina, metionina y triptófano (Babji *et al.*, 2010). Sin embargo, una ingesta elevada de proteínas animales se ha relacionado con un mayor riesgo de enfermedades cardiovasculares, cáncer colorrectal, diabetes tipo 2 y muertes prematuras, mientras que las proteínas vegetales han mostrado importantes efectos protectores (Kalpanadevi *et al.*, 2021; Mattila *et al.*, 2018). Consecuentemente, las proteínas vegetales se podrían considerar como una opción saludable y se podría promover la ingesta de proteínas vegetales complementarias para proporcionar una composición equilibrada de aminoácidos esenciales para satisfacer las necesidades (Kalpanadevi *et al.*, 2021) y surjan como una fuente sostenible de proteínas y encuentren numerosas aplicaciones en el sector alimentario. Además, el uso de estas nuevas fuentes de proteínas de origen vegetal requiere el desarrollo de nuevas cadenas de valor, prestando especial atención a

variables como la aceptación del consumidor, la escalabilidad, la seguridad alimentaria y los costos de producción (Kumar *et al.*, 2022).

Se han estudiado y utilizado ampliamente varias fuentes vegetales en la preparación de suplementos proteicos. Las fuentes que se han estudiado ampliamente incluyen semillas oleaginosas, legumbres, cereales, nueces y pseudocereales (López *et al.*, 2018; Mattila *et al.*, 2018). La calidad nutricional de una fuente de proteína depende principalmente de varios factores dependiendo de su biodisponibilidad, digestibilidad, contenido de aminoácidos y factores antinutricionales. Sin embargo, la mayoría de las proteínas de origen vegetal son poco solubles y extremadamente sensibles a diversos factores del procesamiento de alimentos y a las técnicas de conservación (Jadhav *et al.*, 2024; Mattila *et al.*, 2018). Las proteínas están unidas a otros componentes como carbohidratos, grasas, fibra y polifenoles en la matriz alimentaria (Ampofo y Ngadi, 2022). Las técnicas de modificación innovadoras son esenciales para romper estos enlaces de manera efectiva, seguidas de un mayor rendimiento de proteínas de origen vegetal (Jadhav *et al.*, 2024).

La funcionalidad de las proteínas se rige por su perfil de aminoácidos y se ve afectada por las condiciones de procesamiento como la temperatura y el pH. Las proteínas provenientes de fuentes vegetales tienen aplicaciones restringidas en el sector de procesamiento de alimentos debido a su mala digestibilidad, presencia de factores antinutricionales y otras propiedades tecnofuncionales (Rao *et al.*, 2021). Para aumentar el valor comercial y la aplicabilidad de las proteínas de origen vegetal en el sector de procesamiento de alimentos, existe la necesidad de modificar las propiedades funcionales de las proteínas provenientes de fuentes vegetales (Rathnakumar *et al.*, 2023). Estas tecnologías emergentes que se utilizan principalmente para modificaciones de proteínas incluyen microondas, procesamiento de alta presión, ultrasonidos, campos eléctricos pulsados y plasma frío. Entre estas tecnologías de procesamiento físico, la ultrasonificación es relativamente nueva en la industria alimentaria y se considera uno de los métodos más eficientes en términos de su capacidad disruptiva para romper las matrices celulares, facilitando la extracción y modificación de biomoléculas de los alimentos (Pojić, Mišan y Tiwari, 2018).

La composición de aminoácidos de la proteína es el factor más importante que determina su calidad. Las proteínas de diferentes fuentes vegetales contienen diferentes perfiles de aminoácidos que representan diversas características y beneficios para la salud. Las proteínas vegetales derivadas de cereales, semillas, legumbres, nueces, legumbres y vegetales son en su mayoría bajas o deficientes en aminoácidos esenciales específicos, como lisina, aminoácidos que contienen azufre (cisteína y metionina) y treonina (Kumar *et al.*, 2022). Aunque las proteínas de soja a veces se denominan proteínas "completas", su contenido general de aminoácidos esenciales es relativamente bajo (85% menos que el de la leche) (Kumar *et al.*, 2022; Wilson y Wilson, 2006).

En general, aparte de la soja, que es baja en aminoácidos azufrados, y el maíz, que es bajo en triptófano, la principal diferencia entre el contenido de aminoácidos esenciales de las proteínas vegetales y animales está en el contenido de lisina (Gilbert *et al.*, 2011). En la **Tabla 7** se observan la composición de aminoácidos de varias proteínas vegetales.

### 1.3.1 Aplicaciones en la industria alimentaria

Son diversas las aplicaciones que se le dan a las proteínas vegetales que se utilizan como suplementos en alimentos o productos. Se utiliza proteína de salvado de arroz para preparar galletas mejorando así la resistencia a la fractura (Yadav *et al.*, 2011). La proteína de soja para encapsular capsaicina y usarlos en fideos mejorando la retención de la capsaicina (Li *et al.*, 2013). Proteína de maní como estabilizador de calidad alimentaria (Ning *et al.*, 2020). Proteína de quinoa para la elaboración de pastelitos observándose un mejoramiento de la firmeza y la actividad del agua (López-Alarcón *et al.*, 2019). He *et al.* (2020) han investigado la proteína de arroz para hacer una película a base de glicerina y tratamientos térmicos para su uso potencial en alimentos. Estas películas eran transparentes, de color claro, de alta resistencia mecánica, resistencia al agua, baja turbidez y excelentes propiedades de aislamiento UV. Concentrados de proteína de lentejas, guisantes y habas como emulsionantes naturales en emulsiones de aceite en agua fortificadas con ácidos grasos omega-3 (Gumus, Decker y McClements, 2017). Shchekoldina *et al.* (2014) utilizaron la harina de girasol para extraer las proteínas usando 10% NaCl, clarificación y precipitación. Luego la proteína recibió un tratamiento de purificación a partir de ácido clorogénico y emulsificación para aplicarlo en el pan obteniendo una reducción del tiempo de 20 a 25 minutos para lograr una acidez óptima de la masa y aumento del contenido de aminoácidos. Pantoa *et al.* (2020) han utilizado la proteína de arroz joven para estudiar la digestibilidad de dichas proteínas para la aplicación como alimento funcional, rico en proteínas y de fácil digestión. La proteína de soja aislada se utiliza para la preparación de películas, mezclándose con etanol, agua y poliéster a base de glicerol biológico. Luego, se obtiene una película de alta hidrofobicidad y se utiliza para el envasado de manzanas frescas recién cortadas (Xu *et al.*, 2018). La glutelina del arroz se ha estudiado como posible emulsionante alimentario y se observó la mejora de la estabilidad de las gotitas de lípidos y, por lo tanto, actúa como un emulsionante natural en el desarrollo de productos alimenticios a base de emulsión que no se pueden etiquetar (Xu *et al.*, 2016). A partir del concentrado de proteína de soja se preparó emulsiones de licopeno a base de aceite de salvado de arroz y se mejoró la estabilidad del licopeno en emulsiones de aceite en agua. La proteína de la semilla de algodón se extrajo mediante tratamiento con ácido fosfórico, hidrogenofosfato dipotásico, óxido de calcio e hidrogenofosfato de calcio y se obtuvo un adhesivo de proteína mejorada de fósforo y semilla de algodón con alta resistencia al agua (Li *et al.*, 2019).

**TABLA 7.** COMPOSICIÓN DE AMINOÁCIDOS DE VARIAS PROTEÍNAS VEGETALES

|                           | Soja                          | Trigo   |
|---------------------------|-------------------------------|---|
| Treonina                  | 2,3                           | 1,8   |
| Metionina                 | 0,3                           | 0,7   |
| Fenilalanina              | 3,2                           | 3,7   |
| Histidina                 | 1,5                           | 1,4   |
| Lisina                    | 3,4                           | 1,1   |
| Valina                    | 2,2                           | 2,3   |
| Isoleucina                | 1,9                           | 2   |
| Leucina                   | 5                             | 5   |
| Serina                    | 3,4                           | 3,5   |
| Glicina                   | 2,7                           | 2,4   |
| Ácido glutámico           | 12,4                          | 26,9  |
| Prolina                   | 3,3                           | 8,8   |
| Cisteína                  | 0,2                           | 0,7   |
| Alanina                   | 2,8                           | 1,8   |
| Tirosina                  | 2,2                           | 2,4   |
| Arginina                  | 4,8                           | 2,4   |
| Triptófano                | -                             | -   |
| Acido aspártico           | -                             | -   |
| Contenido de proteína (%) | 39,4 – 44,4                   | 9,3-12,33   |
| Referencias               | (Sharma <i>et al.</i> , 2014) | (Sharma <i>et al.</i> , 2014;<br>Punia, Sandhu y Siroha,<br>2019) |

Fuente: Kumar *et al.* (2022).

## 1.4 Emulsiones cárnicas

Una emulsión cárnica es un sistema en el que dos fases coexisten: una fase dispersa y otra fase continua. En este caso, la fase dispersa está finamente distribuida en la fase continua. Desglosando, los conceptos claves son;

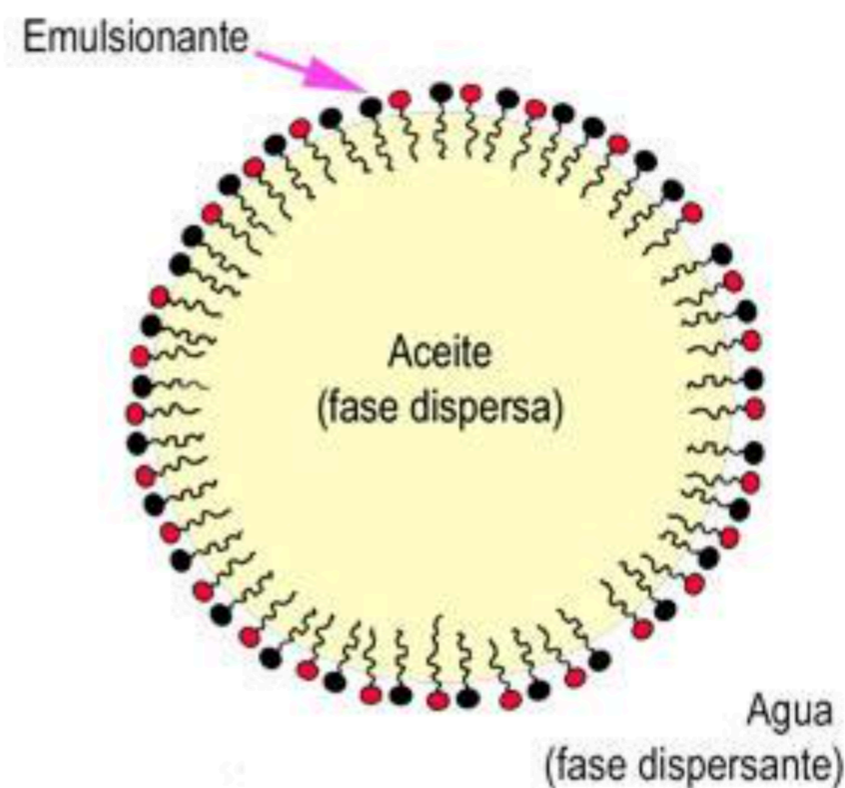
- *Fase Dispersa:* Esta es la fase que está finamente distribuida en la emulsión. En el contexto de una emulsión cárnica, esta fase generalmente consiste en partículas de proteínas, lípidos y otros componentes presentes en la carne.
- *Fase Continua:* es el medio en el que se dispersan las partículas de la fase dispersa. En el caso de una emulsión cárnica, la fase continua suele ser una mezcla de agua, sales y fosfatos.
- *Activación de Proteínas:* Cuando el sarcolema (la membrana que rodea las fibras musculares) se rompe, las proteínas como la miosina y la actina se liberan. Estas proteínas son esenciales para la formación de la emulsión, ya que contribuyen a su estabilidad y textura.
- *Solubilización por Sales y Fosfatos:* Las sales y los fosfatos presentes en la fase continua ayudan a solubilizar las proteínas liberadas. Esto significa que las proteínas se disuelven en la fase continua, lo que contribuye a la consistencia y la viscosidad de la emulsión.

Las emulsiones cárnicas se dan por dos efectos, atrapamiento físico y emulsificación en los cuales las partículas de grasa son dispersadas y cubiertas por proteína solubilizada (Marchetti, 2014). Ya hace mucho tiempo que se ha descrito que uno de los más grandes desafíos en la producción de emulsiones cárnicas es la obtención de productos que mantengan su estabilidad sin padecer excesivas pérdidas de grasa y agua durante la etapa de cocción y almacenamiento. Existen mecanismos que causan la inestabilidad de las emulsiones como la agregación, floculación y coalescencia. No obstante, las emulsiones cárnicas contienen proteínas miofibrilares que son agentes emulgentes para estabilizar las dos fases inmiscibles, sin la presencia de estas las dos fases se separarían inmediatamente (Mendieta, 2014).

Las pastas cárnicas finas son emulsiones aceite en agua (**Figura 5**), las proteínas cárnicas actúan como emulsificantes y otros ingredientes contribuyen con ciertas propiedades texturales, organolépticas y tecnofuncionales (Romero, Alvis y Garcia, 2016).

Los agentes emulgentes están presentes en menor o mayor proporción dependiendo del corte o músculo que sea procesado. Ingredientes como aceites vegetales pueden ser utilizados como sustitutos funcionales de grasa en derivados cárnicos, en especial en emulsiones cárnicas tipo frankfurt, obteniendo productos con un mejor perfil de ácidos grasos (Meneses, Molina y Vargas, 2011; Mendieta, 2014).





**FIGURA 5.** EMULSIÓN DEL TIPO ACEITE EN AGUA. FUENTE: EMULSIONES (ORGFREE.COM)

### 1.4.1 Salchichas

La salchicha es un producto alimenticio que resulta del ensamblaje de los ingredientes adecuados en la proporción adecuada junto con un diseño estructurado y un proceso controlado. La calidad del producto es siempre un reflejo del estado de las materias primas y del proceso.

#### 1.4.1.1 Preparación de salchichas

De acuerdo con Abdolghafour *et al.* (2014) el primer paso para la elaboración de las salchichas es la selección de la carne. Según el tipo de carne que se elija, esta debe ser tal que tenga una buena capacidad de retención de agua. Se necesita alrededor del 20% de grasa para obtener una buena textura, sabor y flavor. Se pueden utilizar grasas duras y blandas. Se puede utilizar grasa de cerdo, grasa de res, grasa de cordero, grasa de pollo o incluso aceites vegetales. El segundo paso es la molienda de ingredientes cárnicos y grasos. Los trozos de carne magra del tamaño de un puño se muelen y los recortes de grasa o tejidos grasos se reducen. Luego se añaden las sales de curado y el lote se mezcla en una mezcladora mecánica para asegurar que los ingredientes estén bien dispersos. Durante muchos procedimientos de embutido de tipo emulsión, a una pretritución en la trituradora le sigue un picado porque contribuye a una mejor y más uniforme reducción del tamaño en la cortadora. Después de triturar, la carne se pica hasta obtener partículas muy finas para facilitar la extracción de proteínas. Las proteínas tienen la función de unir el agua que rodea las gotas de grasa y mantenerlas dispersas. La preparación de la emulsión de embutido se realiza básicamente en dos fases. En primer lugar, se coloca sobre el cortador la carne magra, previamente molida o no, y se trocea. Esto se hace añadiendo simultáneamente todas las sales de curado (sal de cocina, nitrito), fosfato y/o citrato para el lote total y un tercio de la cantidad total



de hielo finamente picado o agua. Una mayor concentración de sal en la fase acuosa de la mezcla dará como resultado una mayor extracción de la proteína de la carne y es de suma importancia para formar una emulsión estable. Al momento de picar la carne magra, se debe picar durante un período suficiente, normalmente no menos de 6-8 minutos. Pasado este tiempo se añaden los recortes de grasa y otras carnes grasas, luego las especias y los dos tercios restantes del total de agua. Luego se continúa picando hasta que el lote esté completamente picado; sin embargo, la temperatura de la emulsión cárnica no debe superar los 18°C (segunda fase). Durante este tiempo, toda el agua es absorbida por las carnes desintegradas y homogeneizadas. Si se utiliza ascorbato de sodio, también se añade al final de la operación de picado. Antes de llenar las tripas, se debe excluir el oxígeno de la mezcla (mediante dispositivos de llenado al vacío) y la temperatura de la mezcla no debe exceder los 2°C. Se utilizan con mayor frecuencia tripas naturales (elaboradas a partir de intestinos de animales sacrificados), así como tripas de colágeno o celulosa modificada. También se utilizan cuatro productos sin secar, tripas sintéticas. La evacuación del aire del producto mejora la estabilidad del color y el efecto visual de las salchichas. También reduce la oxidación de grasas y la acción bacteriana y previene la proteólisis. Por tanto, mediante el envasado al vacío se consigue una vida útil más larga de las salchichas. Las tripas, también conocidas como pieles, utilizadas en la fabricación de embutidos para alcanzar su importancia principal en el porcionado. A grandes rasgos se dividen en dos tipos: naturales y artificiales. Para la elaboración de tripas naturales se utilizan intestinos de cerdo u oveja. La mayoría de los productos elaborados con tripa natural salen con una curva después del llenado y la cocción. Actualmente las tripas artificiales se fabrican con colágeno, celulosa y materiales plásticos para adaptarse a una amplia gama de aplicaciones. Mediante una serie de acciones mecánicas y químicas, el colágeno se extrae del tejido conectivo de los animales y se utiliza para fabricar tripas. Además de proporcionar la forma requerida a la salchicha, las tripas también aumentan la vida útil del producto al proporcionar propiedades de alta resistencia a la humedad y al oxígeno con fuerza de sellado y densidad. Por tanto, las tripas contribuyen a minimizar la pérdida de peso del producto durante la cocción. Hay muchos métodos de cocción como la inmersión en la tina de cocción, ducha caliente que se realiza en un ahumadero equipado con boquillas de ducha, ducha caliente en gabinetes separados con rociadores de agua caliente a los que se trasladan las salchichas inmediatamente después de ahumar, cocción con calor seco elevando mantener la temperatura del ahumadero y dar sólo una breve ducha final de agua caliente, cocinar en cajas herméticas en las que se inyecta vapor vivo, etc. Sin embargo, los programas de cocción varían notablemente. Si se utilizan pulverizadores de agua, la temperatura es de aproximadamente 80-82°C. La temperatura del agua en las cubas de cocción puede ser de unos 73-76°C. Se considera que una temperatura interna final de la salchicha de 65°C mínima, pero una temperatura de 68°C es una temperatura de punto final óptima que proporciona una vida útil suficiente del producto y las características organolépticas deseadas. Esto suele tardar entre 15 y 20 minutos. Se debe

desarrollar un programa de cocción adecuado estudiando cuidadosamente el rendimiento y la calidad de la salchicha. Después de cocinarlas en cubas, las salchichas se bañan con agua caliente para eliminar la grasa adherida. Y, por último, el enfriamiento y envasado en donde la salchicha es bañada o remojada en agua hasta que alcanza una temperatura interna de 3-4 °C, luego se retira la tripa y se enfría a -15 °C para envasar. El objetivo principal del envasado es evitar que la carne y los productos cárnicos sufran contaminación microbiana y cambios físicos y químicos.

Según Abdolghafour y Saghir (2014), los tipos de salchichas se clasifican en;

- *Salchichas frescas*

Las salchichas frescas se elaboran a partir de carnes frescas que, por regla general, no están curadas, ahumadas, fermentadas ni cocidas. Las salchichas frescas deben mantenerse refrigeradas antes de consumirlas. Son calentados por el propio consumidor antes de servirlos.

- *Salchicha fermentada*

Las salchichas fermentadas se elaboran a partir de carnes curadas o sin curar, fermentadas y, a menudo, ahumadas, pero no se procesan térmicamente, se dividen en salchichas semisecas y secas.

- *Precocidos ahumados*

Los embutidos precocidos ahumados son en su mayoría productos curados, no fermentados; su vida útil aumenta con el calentamiento debido a la reducción parcial de su contenido de humedad; Por lo general, finalmente se cocinan antes de su consumo.

- *Embutidos tipo emulsión*

Los embutidos tipo emulsión comprenden productos listos para el consumo elaborados a partir de ingredientes triturados y bien homogeneizados, tejido graso, agua y condimentos, generalmente ahumados y ligeramente cocidos. En Europa, estas salchichas se conocen como “escaldadas” porque sólo se escaldan (pasteurizan) y no se cocinan completamente.

- *Salchichas cocidas*

Los embutidos cocidos son productos listos para servir, elaborados básicamente a partir de materias primas frescas previamente cocidas o excepcionalmente curadas, sometidos a una cocción final tras el embutido, con o sin ahumado adicional. Un subgrupo de estos embutidos está formado por especialidades cocidas u horneadas que no se embuten en tripa, sino que se moldean y, por tanto, no siempre se consideran embutidos.

## 1.5 Productos cárnicos híbridos

Actualmente la selección de alimentos por parte de los consumidores tiene un impacto significativo en el medio ambiente (Siegrist y Hartmann, 2019), por lo que alimentar al mundo de manera sostenible se ha considerado uno de los desafíos más importantes del futuro (Ritchie, Rosado y Roxer, 2017). Específicamente, el consumo de proteína animal tiene un gran impacto ambiental (Shukla *et al.*, 2020) y su reducción es un compromiso esencial para una dieta ambientalmente sostenible (Siegrist y Hartmann, 2019; Grasso, Asioli y Smith, 2022).

Los análogos de la carne son productos alimenticios elaborados con ingredientes de origen vegetal que tienen como objetivo imitar la funcionalidad, la composición de nutrientes y las características sensoriales de un producto cárnico (Bohrer, 2019; Ismail, Hwang y Joo, 2020; Chandler y McSweeney, 2022). El creciente mercado de productos de origen vegetal también ha permitido que los análogos de la carne sean una estrategia emergente para reducir el consumo de carne; sin embargo, el sabor y la textura siguen siendo demasiado diferentes a los de un producto cárnico para recibir una aceptación generalizada por parte de los consumidores (P. Kumar *et al.*, 2017). Por lo tanto, se han formulado productos cárnicos híbridos utilizando proteínas animales y vegetales para aumentar la aceptación de estos productos por parte de los consumidores (Hartmann y Siegrist, 2017; Neville *et al.*, 2017; Chandler y McSweeney, 2022).

Los productos cárnicos triturados (comúnmente preparados por corte, trituración molienda y picado) podrían mezclar los ingredientes de origen animal y vegetal en lo que se conoce como productos cárnicos híbridos (Grasso y Jaworska, 2020; Talens *et al.*, 2023). Estos productos son creados con la idea de facilitar la transición de una dieta basada en carne a una mayor ingesta de alimentos a base de plantas, ya que estos podrían calmar el deseo del sabor familiar de la carne y la textura de la carne al tiempo que proporcionan un perfil nutricional superior (Talens *et al.*, 2023). Los productos cárnicos híbridos combinan una mezcla de ingredientes cárnicos e ingredientes vegetales en una forma conveniente y lista para cocinar, como salchichas, hamburguesas y carne picada (Grasso y Jaworska, 2020).

No existen proporciones establecidas de ingredientes de origen vegetal y de carne ni limitaciones específicas para el componente de origen vegetal del producto cárnico híbrido, que puede incluir legumbres, frutas y verduras como una mezcla o como ingrediente único (Schösler, Boer y Boersema, 2012; Grasso, Asioli y Smith, 2022). Por lo tanto, las carnes híbridas tienen como objetivo reformular estos productos familiares y ofrecer sabor y comodidad sin alterar drásticamente la dieta de los consumidores (Grasso y Jaworska, 2020).

Es difícil pasar completamente de una dieta centrada en la carne a un vegetarianismo o veganismo estricto debido a las creencias y a la visión positiva de la carne y a culturas en el que su dieta está

basada en el consumo de carne. Sin embargo, cambiar a una dieta flexitariana o semivegetariana (principalmente basada en plantas, con poco consumo de carne) es menos estricto y aún puede tener un impacto positivo (Spencer *et al.*, 2018; Grasso y Jaworska, 2020).

Los productos cárnicos híbridos podrían abrir nuevas oportunidades de negocio para la industria alimentaria (Grasso *et al.*, 2019). La industria cárnica podría estar respondiendo a las crecientes necesidades de los consumidores flexitarianos, pero el lanzamiento de productos cárnicos híbridos también podría estar representando un momento de cambio y un intento por parte de los fabricantes de productos cárnicos de ganar participación en el mercado sobre las nuevas y populares fuentes alternativas de proteínas de origen vegetal (Grasso, 2020).

La diferencia entre productos cárnicos híbridos y productos cárnicos con ingredientes funcionales de origen vegetal (extensores, rellenos y aglutinantes) está en el propósito de la mezcla de carne y proteínas vegetales. Por lo general, los ingredientes funcionales de origen vegetal se utilizan tradicionalmente por razones económicas y tecnológicas, mientras que, en los productos cárnicos híbridos, este concepto se eleva aún más para incluir connotaciones positivas sobre la “extensión” de la carne, incluida la salubridad, un menor impacto ambiental y, en general, la idea de disminuir el consumo de carne (Grasso, 2020).

Actualmente existe suficiente conocimiento científico disponible para fabricar productos cárnicos más saludables que incorporen ingredientes de origen vegetal (Grasso *et al.*, 2014) y productos cárnicos con afirmaciones como “uno de tus cinco al día” y “fuente de Fibra” se han lanzado al mercado (Waitrose, 2017; Grasso y Jaworska, 2020). Sin embargo, no se sabe bien qué reformulaciones serían más aceptadas por los consumidores ya que se ha destacado que el sabor es un factor clave para influir en la percepción de los productos cárnicos híbridos (Shan *et al.*, 2017), por lo que es importante capturar los sabores preferidos de los consumidores para dar a los fabricantes la confianza de que están cumpliendo con lo que los consumidores desean (Dijksterhuis, 2016).

Chandler y McSweeney (2022) estudiaron las propiedades de las hamburguesas de carne híbrida hechas con legumbres y pollo. Caracterizaron la composición química y las propiedades físicas y de textura de las hamburguesas. Se agregaron legumbres (guisantes amarillos, garbanzos y lentejas) a la hamburguesa de pollo al 0%, 25%, 50% y 75%. Todas las legumbres redujeron el contenido de grasa y el contenido de humedad en los análogos de la carne. Los guisantes amarillos redujeron el contenido de proteínas, pero los garbanzos y las lentejas no. Las legumbres mejoraron las muestras. Propiedades de cocción con mayor rendimiento de cocción y menor reducción de diámetro y espesor. Las propiedades texturales de la hamburguesa híbrida fueron significativamente diferentes de las de la hamburguesa de control en niveles de sustitución del

50% y 75%. Este estudio demostró que las legumbres se pueden combinar con pollo para crear un nuevo producto alimenticio, aunque sólo con bajas cantidades de sustitución (nivel del 25%).

Talens *et al.* (2023) desarrollaron una estrategia de diseño de alimentos para reducir el contenido de proteína animal en los productos cárnicos procesados. En el estudio se modela y analiza el efecto de combinar tres fuentes sostenibles de proteínas, fibras y micronutrientes sobre las propiedades tecnofuncionales, nutricionales, texturales y sensoriales de los productos cárnicos híbridos. Utilizaron tres ingredientes; el brócoli, el bagazo reciclado de cerveza y la harina de insectos (*Tenebrio molitor*). Este estudio demostró que la inclusión de fuentes alternativas de proteínas puede ser eficaz como estrategia para reducir el contenido de proteína animal en las formulaciones de productos cárnicos. Los productos cárnicos híbridos con un 50% de proteína animal tienen propiedades texturales y sensoriales similares a las formulaciones comerciales elaboradas exclusivamente con proteína animal. Se utilizó una metodología de diseño de mezclas para obtener las nuevas formulaciones, y se modelaron y predijeron las propiedades nutricionales y texturales con un alto nivel de correlación con las proporciones de ingredientes. La optimización estadística se basó en la función de deseabilidad. La formulación que contenía 22% de brócoli, 3% de bagazo reciclado de cerveza y 10% de harina de insectos tenía la jugosidad y el olor comparables a la muestra comercial y era superior en términos de apariencia.

Pöri *et al.* (2023) realizaron un estudio que se centró en explorar el potencial de crear productos cárnicos híbridos mediante extrusión con alto contenido de humedad a partir de una mezcla de carne picada (con 7 o 17 % de grasa) y dos ingredientes comerciales diferentes de proteína de guisante. Se produjeron con éxito extruidos híbridos a partir de una mezcla 1:1 de carne de vacuno y aislado de proteína de guisantes o concentrado de proteína de guisante texturizado molido. Las diferencias en la apariencia, textura y propiedades sensoriales de los extruidos híbridos dependieron tanto de las propiedades de los ingredientes como de los parámetros del procesamiento de extrusión (especialmente la temperatura). Los extruidos con carne de res y aislado de proteína de guisantes eran más suaves y tenían capas, mientras que los extruidos con carne de res y concentrado de proteína de guisante texturizado molido eran más duros y tenían fibras más pequeñas. El contenido de grasa de la carne de res no afectó significativamente las propiedades texturales de los extruidos. Los extruidos con carne de res y concentrado de proteína de guisante texturizado molido tenían un olor a carne y un sabor umami, mientras que los extruidos con carne de res y aislado de proteína de guisantes tenían un sabor y olor dominantes a guisantes.

Grasso *et al.* (2022) investigaron para identificar recetas híbridas con mayor potencial de aceptación; comprender la disposición de probar y la disposición para comprar productos híbridos por parte de los consumidores, y comparar productos cárnicos híbridos con productos cárnicos y



alternativas de origen vegetal sin carne en varios atributos (saludable, ético, respetuoso con el medio ambiente, conveniente, asequible, sabroso, agradable, aceptable, aspiracional, nutritivo, sencillo, seguro). La encuesta realizada a un total de 2.405 consumidores en Dinamarca, España y el Reino Unido reveló que en todos los países los consumidores prefieren una hipotética hamburguesa de ternera elaborada con un 25% o un 50% de ingredientes de origen vegetal (cebollas, hierbas, especias, ajo y champiñones) y con un reclamo nutricional sobre proteínas o grasas. Al menos el 57% de los consumidores estaban dispuestos a probar y al menos el 46% estaban dispuestos a comprar productos cárnicos híbridos. En todos los países y para la mayoría de los atributos, los productos cárnicos híbridos obtuvieron puntuaciones similares a las alternativas de origen vegetal sin carne y de manera diferente a los productos cárnicos. Los productos cárnicos híbridos y las alternativas vegetales sin carne se consideraron saludables, éticos y respetuosos con el medio ambiente, mientras que los productos cárnicos se consideraron asequibles, sabrosos, agradables y sencillos.



**FIGURA 6.** PRODUCTO CÁRNICO HÍBRIDO. FUENTE: NUEVOS PRODUCTOS HÍBRIDOS ATRAEN A NUEVOS GRUPOS OBJETIVO (INDUSTRIAALIMENTARIA.ORG)

## **CAPÍTULO 2 - OBJETIVOS**





## **2.1 Objetivo general**

Revalorizar el salvado de arroz al utilizar sus componentes, principalmente proteína y fibra, y estudiarlo como un potencial ingrediente económico para el desarrollo de productos cárnicos híbridos.

## **2.2 Objetivos específicos**

Para alcanzar el objetivo general, se plantearon varios objetivos específicos;

- Estabilizar el salvado de arroz mediante la aplicación de tratamiento térmico para evitar la hidrólisis de lípidos, y asegurar un almacenamiento adecuado.
- Extraer los lípidos del salvado de arroz usando como solvente el hexano para obtener salvado de arroz desgrasado y realizar un análisis fisicoquímico del salvado de arroz entero y desgrasado.
- Extraer las proteínas del salvado de arroz desgrasado y cuantificar el rendimiento de la extracción. Evaluar la solubilidad, capacidad de formación de espuma y su estabilidad y la capacidad de absorción de agua y aceite de los concentrados de proteínas obtenidos.
- Estudiar el efecto de la adición de fibra y proteína de arroz, a diversas concentraciones, en emulsiones cárnicas. Evaluar las propiedades reológicas de las emulsiones crudas inmediatamente después de su preparación y tras 24 horas de reposo a 4 °C. Evaluar el rendimiento de cocción, las propiedades texturales y color de las salchichas híbridas formuladas.

# **CAPÍTULO 3 - MATERIALES Y MÉTODOS**



### 3.1 Introducción al diseño experimental

Para cumplir con los objetivos propuestos, el trabajo se dividió en dos partes. La primera parte se centró en la extracción de proteínas del salvado de arroz y su posterior análisis. La segunda parte abordó la formulación de emulsiones cárnicas para la elaboración de salchichas híbridas.

En el **experimento A**, se evaluó el salvado de arroz como una fuente potencial de proteínas. Para ello, se emplearon dos tipos de salvado: uno estabilizado, proporcionado por el CEPROBI-IPN de México, y otro suministrado por la empresa Nomen Foods de España, que fue estabilizado para prevenir la hidrólisis lipídica. Posteriormente, se extrajo el aceite del salvado mediante hexano para obtener salvado de arroz desgrasado. Se realizaron análisis fisicoquímicos tanto del salvado entero como del desgrasado, y se procedió a la extracción y cuantificación de las proteínas. Finalmente, se evaluaron las propiedades funcionales de los concentrados proteicos, tales como la solubilidad, la capacidad y estabilidad de formación de espuma, así como la capacidad de absorción de agua y aceite.

En el **experimento B**, se realizaron los cálculos necesarios para formular emulsiones cárnicas destinadas a la elaboración de salchichas híbridas, basándose en la composición de cada ingrediente. Las formulaciones se prepararon utilizando aislado de proteína de arroz para sustituir parcialmente la proteína cárnica. Además, se incorporó salvado de arroz, tanto entero como desgrasado, para que actuara como fuente de fibra dietética, permitiendo así la obtención de productos considerados fuente de fibra (3%) y enriquecidos con fibra (6%). Una vez obtenidas las emulsiones cárnicas con las diferentes formulaciones se analizaron sus propiedades reológicas, tanto inmediatamente como tras 24 horas de reposo a 4 °C. Posteriormente, se evaluaron las pérdidas por cocción de las salchichas híbridas cocidas, así como sus propiedades texturales, corte y de color.

## **3.2 Procedimiento experimental A: Extracción de proteínas del salvado de arroz y evaluación de sus propiedades funcionales.**

### **3.2.1 Material vegetal**

Se utilizó salvado de arroz estabilizado, proporcionado por el CEPROBI-IPN de México, y salvado de arroz suministrado por la empresa arrocera Nomen Foods, ubicada en Deltebre, Cataluña, España. Ambas muestras de salvado fueron tamizadas para eliminar restos de cáscaras y fragmentos de arroz partido, asegurando así su pureza para los análisis posteriores.

### **3.2.2 Reactivos**

Se utilizaron seroalbúmina bovina (BSA), azul brillante Coomassie® G-250, ácido clorhídrico, cloruro de sodio y hexano, todos de la marca Sigma-Aldrich. Además, se empleó ácido ortofosfórico de la marca PanReac AppliChem ITW Reagents.

### **3.2.3 Estabilización del salvado de arroz**

Las muestras de salvado de arroz fueron estabilizadas en el autoclave a 125 °C durante 20 minutos con el fin de inactivar la lipasa. Tras este proceso, se secaron en una estufa a 30 °C durante 30 minutos. Posteriormente, una parte del salvado fue almacenada a -20 °C, mientras que la otra parte fue sometida a un proceso de desgrasado.

### **3.2.4 Desgrasado del salvado de arroz**

La extracción de aceite del salvado de arroz se realizó mediante extracción con solvente utilizando hexano en una proporción de salvado a disolvente de 1:3 (p/v) manteniéndose en agitación durante 30 minutos (x2). Se centrifugó a 4000g durante 10 minutos y se decantó el hexano. El salvado de arroz desgrasado se secó al aire durante toda la noche bajo una campana de extracción. Finalmente se almacenaron en bolsas de polietileno a una temperatura de -20 °C hasta su uso.

Las muestras de salvado de arroz destinadas a la extracción y cuantificación de proteínas fueron desgrasadas utilizando el equipo de extracción acelerada de solventes ASE 200® (Thermo Fisher Scientific, Estados Unidos). Este sistema permitió la extracción eficiente del aceite mediante el uso de solvente (hexano) a alta presión y temperatura, optimizando el proceso de separación. Los parámetros para el desgrasado de salvado de arroz con el equipo se muestran en la **Tabla 8**.

**TABLA 8.** PARÁMETROS DEL EQUIPO ASE 200® PARA EL DESGRASADO DEL SALVADO DE ARROZ.

|  |           |
|--|-----------|
| <i>Cantidad de muestra de salvado de arroz</i> | 12 g      |
| <i>Volumen de la celda</i>                     | 33 mL     |
| <i>Presión</i>                                 | 10,34 MPa |
| <i>Temperatura</i>                             | 50 °C     |
| <i>Tiempo de calentamiento</i>                 | 5 min     |
| <i>Tiempo estático</i>                         | 5 min     |
| <i>Ciclos estáticos</i>                        | 4         |
| <i>Enjuague</i>                                | 60%       |
| <i>Purga</i>                                   | 60 s      |

La celda del equipo, con un volumen de 11 mL, se utilizó para contener la muestra y el solvente durante el proceso de extracción. El proceso se realizó a alta presión para forzar el solvente a través de la muestra y mejorar la eficiencia de la extracción.

La extracción se llevó a cabo a 50 °C para mantener el solvente a una temperatura óptima que favorezca la disolución de los componentes de la muestra. Primero, una vez llena la celda con el disolvente se calentó durante 5 minutos para alcanzar una temperatura estable. Posteriormente, la muestra se mantuvo en reposo durante 5 minutos para permitir que el solvente actúe efectivamente. Se realizaron 2 ciclos estáticos en los que el solvente permaneció en contacto con la muestra para asegurar una extracción completa. Después se realizó un enjuague con un volumen del 60% del volumen total de la celda para eliminar cualquier residuo de solvente. Finalmente, se utilizó nitrógeno (N<sub>2</sub>) para purgar el sistema durante 60 segundos, eliminando aire o vapor residual y garantizando que el solvente se mantenga puro y libre de contaminantes.

### 3.2.5 Características fisicoquímicas del salvado de arroz estabilizado

#### 3.2.5.1 Humedad

Se pesaron 2 g de muestra en un crisol previamente tarado y se colocaron en una estufa a 104 °C durante 24 horas para asegurar la eliminación completa de la humedad. Después del período de secado, el crisol se transfirió a un desecador y se dejó enfriar a temperatura ambiente. Posteriormente, el crisol con la muestra se pesó nuevamente en una balanza analítica para determinar el contenido de humedad. Este procedimiento se realizó por triplicado para cada muestra.

El porcentaje de humedad se calculó a partir de la siguiente fórmula;

$$\text{Humedad (\%)} = \frac{M1 - M2}{M} \times 100$$

Donde;

M1: peso del crisol + muestra húmeda

M2: peso del crisol + muestra seca

M: peso de la muestra

### 3.2.5.2 Cenizas

El contenido de ceniza se determinó mediante la incineración de muestras en un horno mufla a 550 °C durante 5 horas. Se pesaron 2 g de salvado de arroz en un crisol previamente tarado y se colocaron en el horno mufla, donde se mantuvieron a 550 °C durante 5 horas para asegurar una completa incineración. Tras el período de incineración, el horno se apagó y se dispuso a que se enfriara a temperatura ambiente antes de retirar el crisol con la muestra incinerada. Este procedimiento se realizó por triplicado para cada muestra.

El porcentaje de cenizas se calculó a partir de la siguiente fórmula;

$$\text{Cenizas (\%)} = \frac{P - p}{M} \times 100$$

En donde;

P: peso del crisol con las cenizas en gramos

p: peso del crisol vacío en gramos

M: masa de la muestra en gramos

### 3.2.5.3 Proteínas

El contenido en proteínas del salvado de arroz desgrasado se determinó mediante el método de Dumas en el laboratorio de la unidad de Producción Animal de la Universidad Autónoma de Barcelona. Para garantizar la precisión y fiabilidad de los resultados, se realizaron mediciones por triplicado.

### 3.2.5.4 Color

La medición del color se realizó en la superficie del salvado de arroz entero y desgrasado utilizando un medidor de color CHROMA METER CR-400 (Konica Minolta, Inc., Tokio, Japón).

Se determinaron los valores de las coordenadas L\* (luminosidad), a\* (rojo/verde) y b\* (amarillo/azul) según la escala CIELab. Las mediciones se realizaron por triplicado.

#### **3.2.5.5 Capacidad de retención de agua (CRA)**

Se utilizó el método descrito por Wang *et al.* (2016) para la determinación de la capacidad de retención de agua. Se pesaron 1 g de la muestra seca (S) y se colocaron en un tubo de centrífugo graduado con tapón de rosca. La muestra se hidrató en 13 mL de agua destilada a temperatura ambiente y se dejó reposar durante 18 horas. Después del periodo de reposo, se centrifugó a 3000g durante 20 minutos. El sobrenadante se decantó, y el residuo se pesó para obtener el peso húmedo (PH). Las mediciones se realizaron por triplicado para asegurar la precisión de los resultados.

La capacidad de retención de agua se calculó a partir de la siguiente fórmula;

$$CRA = \frac{PH (g) - S (g)}{S (g)}$$

Expresado como;

gramos de agua absorbidos / gramos de muestra seca.

#### **3.2.5.6 Capacidad de absorción de aceite (CAAc)**

Se pesaron 500 mg de muestra seca (PS) en un tubo de centrífuga graduado y se mezclaron con 10 mL de aceite de girasol refinado. La mezcla se dejó reposar en una gradilla durante 18 horas a temperatura ambiente y luego se centrifugó a 10,000g durante 30 minutos. Tras la centrifugación, el sobrenadante se decantó y se pesó el residuo (PR). Las mediciones se realizaron por triplicado.

La capacidad de absorción de aceite se calculó a partir de la siguiente fórmula;

$$CAAc = \frac{PR (g) - PS (g)}{PS (g)}$$

Expresado como;

gramos de aceite absorbido / gramos de muestra seca.

### **3.2.6 Precipitación y cuantificación de proteínas del salvado de arroz desgrasado**



### 3.2.6.1 Tratamiento alcalino

Se adaptó el método descrito por Phongthai *et al.* (2016) para la extracción de proteínas del salvado de arroz (**Figura 7**). Se dispersaron 1 g de salvado de arroz en 10 mL de disolvente y se ajustó el pH a 9,5 utilizando una solución de hidróxido de sodio 0,5 M. Se añadieron 9,67 mL de agua destilada y 0,33 mL de NaOH 0,5 M por cada gramo de salvado de arroz desgrasado, y la mezcla se agitó durante 1 minuto a alta velocidad utilizando un vórtex. Luego, se incubó a 45 °C durante 1 hora. Alternativamente, la mezcla se colocó en un baño de agua a 45 °C y se agitó durante 30 segundos cada 5 minutos utilizando un vórtex, durante 1 hora. La suspensión resultante se centrifugó a 10,000g durante 10 minutos. El sobrenadante se separó en un tubo cónico, y el sedimento se lavó con 5 mL de agua destilada. El lavado se realizó mediante centrifugación o filtración (Whatman #4 o equivalente, 20-25 µm) para recuperar el sobrenadante adicional. El pH del sobrenadante se ajustó a 4,5 utilizando HCl 0,5 M, añadiendo 200 µL de HCl 0,5 M, debido a que la extracción comenzó con una relación matriz/disolvente de 1 g/10 mL. La mezcla se agitó durante 30 minutos a temperatura ambiente y se almacenó a 4 °C durante 4 horas para promover la precipitación de proteínas. Posteriormente, se centrifugó a 10,000g durante 20 minutos a 4 °C, y el sobrenadante se separó cuidadosamente y desechó. El precipitado se dispersó en 5 mL de TRIS 0,05 M a pH 7, se congeló durante la noche y luego se liofilizó. Este procedimiento se realizó por triplicado para cada muestra para garantizar la precisión y la reproducibilidad de los resultados.

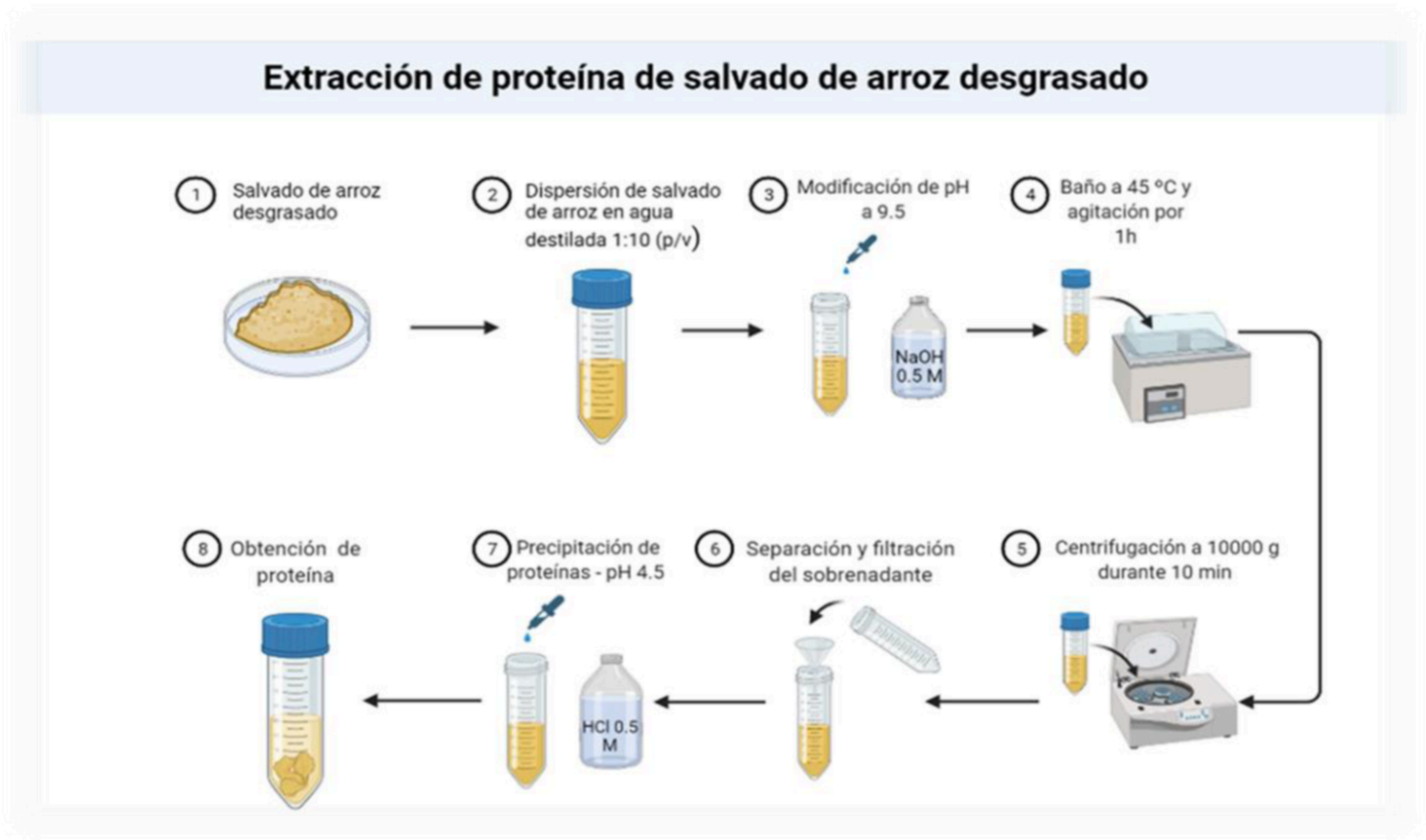
### 3.2.6.2 Cuantificación de proteínas por el método de Bradford

Es un método rápido y preciso para la estimación de la concentración de proteínas. Se basa en la unión del reactivo de Bradford (solución ácida del colorante Coomassie® Brilliant Blue G-250) a proteínas que provocan un cambio de color de marrón rojizo (pico de absorbancia a 465 nm) a azul (pico de absorbancia a 595 nm). El tinte une grupos sulfónicos a la proteína mediante atracción electrostática. Los puntos unidos son principalmente residuos de arginina. En menor grado también se unen histidina, lisina, tirosina, triptófano y fenilalanina (Bradford, 1976; Pedrol, 2001).

Para la preparación del reactivo de Bradford se disolvió 10 mg de Azul Coomassie (Brilliant) G250 en 5 mL de etanol al 95%. Luego, se añadió 10 mL de ácido o-fosfórico al 85% y se completó el balón hasta 100 ml con agua destilada. La solución se filtró a través de papel filtro Whatman N°1 y se guardó en una botella de color ámbar a temperatura ambiente.

El reactivo es estable durante unas 8 semanas. Sin embargo, el tinte puede precipitar. Por tanto, el reactivo almacenado se filtró antes de su uso.

Para el estándar de proteínas se preparó una solución madre a 1 mg/mL disolviendo el estándar de proteína (albúmina de suero bovino) en agua destilada y se almacenó las alícuotas de solución madre a -20°C.



**FIGURA 7.** PASOS PARA LA EXTRACCIÓN DE PROTEÍNAS DEL SALVADO DE ARROZ DESGRASADO.  
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.

*Curva de calibración*

A partir de la solución madre estándar (1 mg/mL), se prepararon diluciones a 7,5, 10, 25, 50, 75 y 100 µg/mL usando agua destilada (**Tabla 9**).

**TABLA 9.** PREPARACIÓN DE DILUCIONES PARA LA CURVA DE CALIBRACIÓN.

| Concentración | Factor de dilución | µL solución madre | µL agua destilada | µL volumen final |
|---------------|--------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| 100           | 1/10               | 100               | 900               | 1000             |
| 75            | 1/13.333           | 75                | 925               | 1000             |
| 50            | 1/20               | 50                | 950               | 1000             |
| 25            | 1/40               | 25                | 975               | 1000             |
| 10            | 1/100              | 10                | 990               | 1000             |
| 7.5           | 1/133.333          | 7.5               | 992.5             | 1000             |

### *Tratamiento de muestra y blanco*

Para la medición del concentrado líquido de proteínas de salvado de arroz, se dispusieron 100 µL de muestra o estándar en un tubo de ensayo. Posteriormente, se añadió el reactivo colorante correspondiente. En el caso del blanco, se midieron 100 µL de agua destilada en lugar de la muestra.

El concentrado de proteínas, previamente liofilizado y en forma de polvo, se pesó en una cantidad de 100 mg. A continuación, se añadió 1 mL de tampón TRIS 0,05 M frío. La mezcla fue centrifugada a 4°C y 14,000 rpm durante 20 minutos. El sobrenadante transparente obtenido se utilizó para la cuantificación de proteínas, tratándose como una muestra líquida.

#### **3.2.6.3 Procedimiento de cuantificación**

Se agregaron 1 mL de reactivo de Bradford a cada tubo que contenía 100 µL de muestra, y se mezcló suavemente utilizando un vórtex para evitar la formación de espuma. Las muestras reposaron durante 5 minutos a temperatura ambiente para permitir el desarrollo del color. La absorbancia de las muestras se midió a 595 nm en un espectrofotómetro Model UV 4000 (Dinko Instruments, España) frente a una solución blanca. Para asegurar la precisión, se realizó la medición de absorbancia de cada muestra por triplicado. Además, se diluyeron algunas muestras para que sus concentraciones quedaran dentro del rango lineal de 10-100 µg/mL.

#### **3.2.7 Propiedades funcionales de las proteínas de salvado de arroz desgrasado**

A partir del extracto de proteína de salvado de arroz desgrasado se evaluaron las siguientes pruebas de funcionalidad: solubilidad de proteínas, capacidad de absorción de aceite/agua, capacidad y estabilidad espumante.

##### **3.2.7.1 Solubilidad de las proteínas**

Se adaptó el método de Phongthai *et al.* (2016) para el análisis de solubilidad de proteínas. Para ello, se prepararon soluciones de proteína de salvado de arroz desgrasado al 1% (p/v) en agua destilada. Se ajustó el pH a 5, 7, 9 y 11 utilizando NaOH 0,5 M o HCl 0,5 M y se agitó a temperatura ambiente durante 30 min. Luego, se centrifugó a 10000g durante 15 min y se determinó el contenido de proteínas en el sobrenadante mediante el método de Bradford. Las mediciones se realizaron por triplicado para asegurar la precisión de los resultados.

Fórmula;

$$\text{Solubilidad (\%)} = \frac{CP}{CTP} \times 100$$

Dónde;

CP: es el contenido de proteínas en el sobrenadante

CTP: es el contenido total de proteínas de salvado de arroz solubilizado en NaOH 0,5 M.

### 3.2.7.2 Capacidad de absorción de agua (CAA)

Se modificó el método de Gupta *et al.* (2008) y se preparó una solución de proteína de salvado de arroz al 1% (p/v) en agua destilada. Se mezcló usando el vortex durante 30 segundos y se mantuvo a temperatura ambiente durante 30 min para facilitar la absorción de agua. Luego, se centrifugó a 2000g durante 15 min, se separó el sobrenadante y se escurrió el pellet durante 30 min. Las mediciones se realizaron por triplicado.

Fórmula;

$$CAA = \frac{g \text{ de agua absorbido}}{g \text{ de proteína de salvado de arroz}}$$

### 3.2.7.3 Capacidad de absorción de aceite (CAAc)

Se modificó el método de Gupta *et al.* (2008) y se preparó una solución de proteína de salvado de arroz al 1% (p/v) en aceite de girasol. Se mezcló usando el vortex durante 30 segundos y se mantuvo a temperatura ambiente durante 30 min para facilitar la absorción de aceite. Luego, se centrifugó a 2000g durante 15 min, se separó el sobrenadante y se escurrió el pellet durante 30 min. Las mediciones se realizaron por triplicado.

Fórmula;

$$CAAc = \frac{g \text{ de aceite absorbido}}{g \text{ de proteína de salvado de arroz}}$$

### 3.2.7.4 Capacidad de formación de espuma y estabilidad

El método de Phongtai *et al.* (2016) fue adaptado y se prepararon soluciones de proteína de salvado de arroz al 1% (p/v) en agua destilada y se ajustó a diferentes valores de pH (5, 7, 9, y 11) usando NaOH 0,5 M o HCl 0,5 M. Se homogeneizó 20 mL de cada solución en un cilindro de 50 mL a 10000 rpm durante 1 min usando un homogeneizador de alta velocidad Unidrive 1000 D (CAT, Alemania), con el objetivo de airear las soluciones. Posteriormente, se

midió el volumen total a los 0 y 30 min después del batido. Las mediciones se realizaron por triplicado para asegurar la precisión de los resultados.

Fórmula;

$$\text{Capacidad de formación de espuma (\%)} = \frac{A0 - B}{B} \times 100$$

$$\text{Estabilidad de la espuma (\%)} = \frac{A30 - B}{A0 - B} \times 100$$

Dónde;

A0: volumen después del batido a 0 min (mL)

A30: volumen después del batido a los 30 min (mL)

B: volumen antes del batido (mL)

### **3.3 Procedimiento experimental B: Formulación y preparación de emulsiones cárnicas para la obtención de salchichas híbridas.**

#### **3.3.1 Materia prima**

##### **3.3.1.1 Carne de pavo**

La carne fue adquirida en el supermercado BonÁrea, la parte utilizada fue el meloso de contramuslo de pavo. Para disminuir las diferencias entre experimentos debidas al origen de la carne, ésta se adquirió en cantidad suficiente para todos los ensayos, fue congelada a  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  y descongelada en cámara ( $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) cuando fue necesaria.

##### **3.3.1.2 Grasas**

Se utilizaron grasas suministradas por la empresa LIPSA (Santiga, España): grasa de coco y la preparación comercial Vegelip cuyas composiciones se muestran en las **Tablas 10 y 11** según la ficha técnica de ambos productos.

**TABLA 10.** PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS (%) DE LA GRASA DE COCO DE LA EMPRESA LIPSA  
(FUENTE: FICHA TÉCNICA).

|              |       |       |
|--------------|-------|-------|
| Caprílico    | C8    | 7,55  |
| Cáprico      | C10   | 5,92  |
| Láurico      | C12   | 46,57 |
| Mirístico    | C14   | 18,71 |
| Palmítico    | C16   | 9,44  |
| Palmitoleico | C16:1 | 0,01  |
| Esteárico    | C18   | 2,92  |
| Oleico       | C18:1 | 6,79  |
| Linoleico    | C18:2 | 1,74  |
| Linolénico   | C18:3 | 0,01  |
| Araquídico   | C20   | 0,04  |
| Gadoleico    | C20:1 | 0,02  |
| Behénico     | C22:0 | 0,00  |
| Erúcico      | C22:1 | 0,00  |
| Lignocérico  | C24:0 | 0,00  |
| <b>Trans</b> |       | 0,01  |
| <b>AGMI</b>  |       | 6,81  |
| <b>AGPI</b>  |       | 1,74  |
| <b>AGS</b>   |       | 91,17 |

\**AGS*: ácidos grasos saturados; *AGMI*: ácidos grasos monoinsaturados; *AGPI*: ácidos grasos poliinsaturados.



**TABLA 11.** PERFIL DE ÁCIDOS GRASOS DEL PREPARADO “VEGELIP” (GRASA DE KARITÉ 55% + ACEITE DE GIRASOL ALTO OLEICO 45%) DE LA EMPRESA LIPSA (FUENTE: FICHA TÉCNICA).

|              |       |       |
|--------------|-------|-------|
| Caprílico    | C8    | 0,00  |
| Cáprico      | C10   | 0,00  |
| Láurico      | C12   | 0,00  |
| Mirístico    | C14   | 0,02  |
| Palmítico    | C16   | 3,82  |
| Palmitoleico | C16:1 | 0,06  |
| Esteárico    | C18   | 33,37 |
| Oleico       | C18:1 | 55,23 |
| Linoleico    | C18:2 | 5,47  |
| Linolénico   | C18:3 | 0,10  |
| Araquídico   | C20   | 1,11  |
| Gadoleico    | C20:1 | 0,16  |
| Behénico     | C22:0 | 0,45  |
| Erúcico      | C22:1 | 0,00  |
| Lignocérico  | C24:0 | 0,11  |
| <b>Trans</b> |       | 0,66  |
| <b>AGMI</b>  |       | 56,01 |
| <b>AGPI</b>  |       | 5,57  |
| <b>AGS</b>   |       | 38,32 |

\**AGS*: ácidos grasos saturados; *AGMI*: ácidos grasos monoinsaturados; *AGPI*: ácidos grasos poliinsaturados.

### 3.3.1.3 Aislado de proteína de arroz

Se utilizó el aislado de proteína de arroz comercial NUTRALYS® RICE I850X de la empresa Roquette, cuya composición según ficha técnica es la que consta en la **Tabla 12**.

### 3.3.1.4 Harina de arroz integral

La harina de arroz integral utilizada fue proporcionada por la empresa Sol Natural de Vipasana Bio S.L, y su composición se detalla en la **Tabla 12**, de acuerdo con la información especificada en el empaque del producto.

### 3.3.2 Preparación de las formulaciones de emulsiones cárnicas para la obtención de salchichas híbridas

#### 3.3.2.1 Composición aproximada

Para estimar la composición aproximada de las emulsiones cárnicas (**Tabla 12**) se procedió a realizar el cálculo de la composición teórica de cada uno de los ingredientes en base a datos obtenidos de la bibliografía en cuanto a las composiciones de la carne de pavo (Barbin *et al.*, 2020; Cavalcanti *et al.*, 2021) y salvado de arroz (Choi *et al.*, 2009; Xu *et al.*, 2021), así como de los datos de las correspondientes fichas técnicas de los ingredientes de origen industrial. La composición de la harina de arroz integral fue obtenida directamente del empaque del producto.

**TABLA 12.** COMPOSICIÓN APROXIMADA DE CADA INGREDIENTE PARA LA ELABORACIÓN DE SALCHICHAS HÍBRIDAS.

|                                     | Carne de pavo <sup>1</sup> | Salvado de arroz <sup>2</sup> | Agua <sup>3</sup> | Grasa de coco <sup>4</sup> | Vegelip (Karité + girasol) <sup>5</sup> | Aislado de proteína de arroz <sup>6</sup> | Harina de arroz integral <sup>7</sup> |
|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|-------------------|----------------------------|---|---|---------------------------------------|
| <b>Proteínas (%)</b>                | 24,80                      | 16,86                         |                   | -                          | -                                       | 85,0                                      | 7,7                                   |
| <b>Agua (%)</b>                     | 73,23                      | 13,21                         | 100,00            | -                          | -                                       | 5,0                                       | 9,8                                   |
| <b>Cenizas (%)</b>                  | 1,13                       | 8,56                          |                   | -                          | -                                       | 5,0                                       | 1,0                                   |
| <b>Fibra dietética (%)</b>          | -                          | 28,60                         |                   | -                          | -                                       | -   | 4,3                                   |
| <b>Carbohidratos digeribles (%)</b> | -                          | 17,92                         |                   | -                          | -                                       | -   | 76,0                                  |
| <b>Grasa (%)</b>                    | 1,53                       | 15,02                         |                   | 100,00                     | 100,00                                  | 5,0                                       | 1,2                                   |
| <i>AGS (%)</i>                      | 32,05                      | 24,75                         |                   | 91,17                      | 38,32                                   | -   | -                                     |
| <i>AGMI (%)</i>                     | 36,94                      | 34,76                         |                   | 6,81                       | 56,01                                   | -   | -                                     |
| <i>AGPI (%)</i>                     | 30,99                      | 40,48                         |                   | 1,74                       | 5,57                                    | -   | -                                     |

<sup>1</sup> Según: Barbin *et al.* (2020); Cavalcanti *et al.* (2021).  
<sup>2</sup> Según: Choi *et al.* (2009); Xu *et al.* (2021).  
<sup>3</sup> Según Ficha técnica LIPSA.  
<sup>4</sup> Según Ficha técnica Roquette.  
<sup>5</sup> Según información del empaque, marca Sol Natural de Vipasana Bio S.L.  
\**AGS*: ácidos grasos saturados; *AGMI*: ácidos grasos monoinsaturados; *AGPI*: ácidos grasos poliinsaturados. Porcentajes expresados sobre la cantidad total de grasa.

#### 3.3.2.2 Formulaciones de emulsiones cárnicas

Con el fin de poder comparar propiedades tecnológicas, se planteó la elaboración de salchichas con similar contenido de componentes principales: todas las formulaciones contenían un 12% de proteína total, un 5% de carbohidratos digeribles y un 5% de grasa. Dentro del 12% de proteína

total, se ensayaron proporciones de proteína cárnica (60%, 50% y 40%), complementándola con proteína de arroz.

Se ensayaron tres niveles de fibra en la formulación: sin fibra, un 3% para que el producto fuera considerado una fuente de fibra y un 6% para que se calificara como enriquecido con fibra. Para ello se añadieron las cantidades correspondientes de salvado de arroz. El salvado de arroz aportó a las fórmulas fibra, proteína, carbohidratos digeribles y aceite insaturado. Dado que no se pueden variar de forma independiente los niveles de fibra y proteína de arroz modificando únicamente la dosis de salvado, se ajustaron los componentes principales. Para ello se complementaron las formulaciones en las cantidades necesarias de harina de arroz integral, de aislado de proteína de arroz y de grasa. En las fórmulas con salvado entero se adicionó grasa de coco, mientras que en las fórmulas con salvado desgrasado se utilizó Vegelip, que incluye ácidos grasos más insaturados equivalentes al aceite de arroz y así mantener en todas las formulaciones un perfil de insaturación similar. Como control se incluyó una formulación con 100% carne de ave. Se diseñó un total de 14 formulaciones distintas de emulsión cárnica, en función del porcentaje de los dos tipos de proteína (cárnica y de arroz) y de fibra y del tipo de grasa que se presenta en la **Tabla 13**. Con las premisas anteriores y la composición de materias primas e ingredientes de la **Tabla 12**, se formularon emulsiones cárnicas para la elaboración de salchichas híbridas usando la herramienta SOLVER de Microsoft Excel. Cada formulación se elaboró en dos ocasiones en orden aleatorio (proporciones de ingredientes en **Tabla 14**).

**TABLA 13.** FORMULACIONES EXPRESADAS EN FUNCIÓN DEL PORCENTAJE DE PROTEÍNA CÁRNICA Y PROTEÍNA DE ARROZ, FIBRA Y TIPO DE GRASA.

| <b>Muestra</b> | <b>Proteína cárnica<br/>(%)</b> | <b>Proteína de arroz<br/>(%)</b> | <b>Fibra<br/>(%)</b> | <b>Tipo de<br/>grasa</b> |
|----------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------|--------------------------|
| <b>C</b>       | 100                             | 0                                | 0                    | Coco                     |
| <b>F1</b>      | 60                              | 40                               | 0                    | Coco                     |
| <b>F2</b>      | 50                              | 50                               | 0                    | Coco                     |
| <b>F3</b>      | 40                              | 60                               | 0                    | Coco                     |
| <b>F4</b>      | 60                              | 40                               | 3                    | Coco                     |
| <b>F5</b>      | 60                              | 40                               | 6                    | Coco                     |
| <b>F6</b>      | 50                              | 50                               | 3                    | Coco                     |
| <b>F7</b>      | 50                              | 50                               | 6                    | Coco                     |
| <b>F8</b>      | 40                              | 60                               | 3                    | Coco                     |
| <b>F9</b>      | 40                              | 60                               | 6                    | Coco                     |
| <b>F10</b>     | 60                              | 40                               | 3                    | Vegelip                  |
| <b>F11</b>     | 60                              | 40                               | 6                    | Vegelip                  |
| <b>F12</b>     | 40                              | 60                               | 3                    | Vegelip                  |
| <b>F13</b>     | 40                              | 60                               | 6                    | Vegelip                  |

*Nota:* Las muestras están codificadas con una letra y un número (por ejemplo, F1, F2) para facilitar su identificación. La letra "F" seguida de un número indica diferentes combinaciones de proteína cárnica, proteína de arroz, fibra, y tipo de grasa utilizada en cada formulación. La muestra "C" corresponde a la formulación control sin proteína de arroz ni fibra.



**TABLA 14.** FORMULACIONES (%) DE EMULSIONES CÁRNICAS DE SALCHICHAS H  
SALVADO DE ARROZ COMO FUENTE DE FIBRA DIETÉTICA.

| Ingredientes (%)            | C     | F1    | F2    | F3    | F4    | F5    |
|-----------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Carne                       | 48,39 | 29,03 | 22,14 | 17,30 | 32,26 | 32,26 |
| Salvado de arroz entero     | -     | -     | -     | -     | 10,49 | 20,9  |
| Salvado de arroz desgrasado | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| Aislado de proteína arroz   | -     | 5,05  | 7,06  | 8,47  | 2,81  | 1,52  |
| Harina de arroz integral    | -     | 6,58  | 6,58  | 6,58  | 4,11  | 1,63  |
| Hielo                       | 45,15 | 52,92 | 57,80 | 61,22 | 45,39 | 40,1  |
| Grasa de coco               | 4,26  | 4,22  | 4,23  | 4,23  | 2,74  | 1,2   |
| Grasa Vegelip               | -     | -     | -     | -     | -     | -     |
| NaCl                        | 1,80  | 1,80  | 1,80  | 1,80  | 1,80  | 1,80  |
| Tripolifosfato (TPP)        | 0,30  | 0,30  | 0,30  | 0,30  | 0,30  | 0,30  |
| Ascorbato de sodio          | 0,10  | 0,10  | 0,10  | 0,10  | 0,10  | 0,10  |

### 3.3.2.3 Análisis reológico de las emulsiones cárnicas

El comportamiento reológico fue analizado mediante el empleo del reómetro RheoStress RS1 (Thermo Fisher Scientific, Bremen, Alemania), equipado con un sistema de control de temperatura Haake SC 100 (Thermo Scientific, Alemania) para mantener con precisión la temperatura de las muestras (4 °C). Se utilizaron platos paralelos serrados de 60 mm de diámetro con una separación de 2 mm. Se estudiaron las emulsiones cárnicas mediante un barrido de frecuencia con un incremento de 0,2 a 5 Hz. Las propiedades viscoelásticas;  $G'$ ,  $G''$  y  $|\eta^*|$  fueron caracterizadas a 1 Hz.

Las mediciones se realizaron en muestras recién preparadas y en aquellas que habían reposado durante 24 horas a 4 °C. Para cada formulación, se llevaron a cabo mediciones por triplicado en dos lotes independientes. Este enfoque permite comparar la estabilidad estructural y las propiedades viscoelásticas de las emulsiones antes y después del período de reposo.

### 3.3.2.4 Embutido y cocción de las salchichas híbridas

Para la preparación de las salchichas, se utilizó un embutidor Kenwood Multi Food Grinder (Havant, Reino Unido). La mitad de las emulsiones recién picadas se embutieron en tripas artificiales de 22 mm de diámetro (Nojaxê, Viskase, S. A., Bagnolet, France), las cuales fueron selladas con una engrampadora y luego refrigeradas a 4 °C durante 24 horas. La otra mitad de las emulsiones se colocaron en bolsas de plástico para reposar durante 24 horas a 4 °C antes de ser embutidas. Posteriormente, ambos grupos de salchichas se cocieron en un baño de agua a 80 °C durante 2 horas.

### 3.3.2.5 Rendimiento de cocción

Una vez cocidas las salchichas híbridas, se evaluó el rendimiento de cocción (RC) midiendo la diferencia de peso antes y después del proceso de cocción. Para cada formulación, se realizaron mediciones por triplicado en dos lotes diferentes. Es decir, se prepararon y cocinaron tres salchichas por cada lote, sumando un total de seis mediciones por formulación.

Primero, se pesaron las salchichas crudas antes de cocinarlas y se registró su peso inicial. Después de cocinarlas a una temperatura y tiempo establecidos, se pesaron nuevamente para obtener el peso final. El rendimiento de cocción se calculó para cada muestra utilizando la fórmula:

$$RC (\%) = \frac{\text{peso de la muestra después de la cocción}}{\text{peso de muestra inicial}} \times 100$$

### **3.3.2.6 Análisis de perfil de textura y corte**

El análisis de textura de las salchichas híbridas se realizó utilizando un analizador de textura Modelo TA-XT2 (Stable Micro Systems, Godalming, Reino Unido). bajo las siguientes condiciones: sonda P/36R, velocidad de 5 mm/s, distancia de compresión del 50% y un tiempo de espera de 5 segundos entre compresiones. Las salchichas se cortaron en rodajas de aproximadamente 2 cm de diámetro y  $4,7 \text{ mm} \pm 0,2$  de altura. Los parámetros evaluados fueron dureza (N), elasticidad (adimensional) y cohesividad (adimensional).

Para la determinación del esfuerzo al corte, se utilizó una cuchilla Warner Bratzler con forma V Slot Blade, realizando el primer corte en el centro de la salchicha. Las condiciones del corte fueron: velocidad del cabezal de 2 mm/s y desplazamiento de 35 mm. Los parámetros analizados fueron firmeza (N) y tenacidad (N·seg).

Se realizaron mediciones por triplicado en cada uno de los dos lotes de la misma formulación. En total, se efectuaron seis mediciones por formulación. Este enfoque garantiza una evaluación precisa y representativa de las propiedades texturales y de corte de las salchichas híbridas.

### **3.3.2.7 Color**

La medida del color se realizó en la superficie de corte de las salchichas utilizando un medidor de diferencia de color CHROMA METER CR-400 (Konica Minolta, Inc., Tokio, Japón). Se determinaron los valores de las coordenadas  $L^*$  (luminosidad),  $a^*$  (rojo/verde), y  $b^*$  (amarillo/azul) según la escala CIELab. Se realizaron mediciones por triplicado en cada uno de los dos lotes de la misma formulación.

## **3.4 Análisis Estadístico**

Se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) de los resultados, y se compararon las medias mediante el test de Tukey, aplicando en todos los casos un nivel de significación del 5%. Para ello, se utilizó el software de análisis estadístico JAMOV 2.5.3 (2023).



# **CAPÍTULO 4 - RESULTADOS Y DISCUSIÓN**



## 4.1 Experimento A: Extracción de proteínas del salvado de arroz y evaluación de sus propiedades funcionales

### 4.1.1 Características fisicoquímicas del salvado de arroz estabilizado

En la **Tabla 15** se muestran las características fisicoquímicas del salvado de arroz estabilizado entero (SAE) y desgrasado (SAD).

#### 4.1.1.2 Humedad

El salvado de arroz entero (SAE) presentó un contenido de humedad mayor ( $13,21 \pm 0,03\%$ ) en comparación con el salvado desgrasado (SAD) que mostró un valor de  $11,64 \pm 0,14\%$ . Las diferencias observadas en el contenido de humedad entre SAE y SAD pueden explicarse, en parte, por el proceso de desgrasado al que se somete el salvado entero. Durante este proceso, se utiliza hexano como solvente para eliminar los lípidos presentes en el salvado. Es posible que el hexano no solo remueva los lípidos, sino que también arrastre una pequeña cantidad de agua junto con las grasas. Además, el paso de evaporación del hexano residual en la estufa podría contribuir a una mayor reducción del contenido de humedad. Al aplicar calor se elimina los restos de hexano, lo que podría favorecer la evaporación de la humedad retenida en el salvado desgrasado. Este efecto de deshidratación provocaría que el salvado desgrasado (SAD) tenga un contenido de humedad menor en comparación con el salvado de arroz entero (SAE), donde no se ha llevado a cabo este tratamiento. Pestana *et al.* (2009) reportaron que el contenido de humedad en el salvado de arroz varía significativamente en función del tratamiento al que es sometido.

#### 4.1.1.3 Cenizas

El contenido de cenizas, que refleja la concentración de minerales, fue significativamente mayor en el salvado desgrasado ( $13,30 \pm 0,12\%$ ) en comparación con el salvado entero ( $11,90 \pm 0,13\%$ ). Esto sugiere que el proceso de desgrasado concentra los componentes no lipídicos, como los minerales, en el SAD. El cálculo teórico realizado sobre los valores analizados y reportados en la **Tabla 15** nos mostraría que el contenido de cenizas expresado sobre base seca magra sería del 17,1% en SAE y 16,2% en SAD, corroborando que la variación observada entre las dos muestras se puede explicar completamente por el factor de concentración. Cao *et al.* (2015) informaron valores similares, con un rango de cenizas del 8,72% al 10,02% para el salvado de arroz entero y del 10,78% al 12,65% para el salvado desgrasado, lo que respalda la idea de que la eliminación de la fracción grasa conduce a una mayor concentración de minerales.

**TABLA 15.** CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DEL SALVADO DE ARROZ ESTABILIZADO ENTERO Y DESGRASADO.

|                           | SAE                       | SAD                       |
|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Humedad (%)               | 13,21 ± 0,03 <sup>a</sup> | 11,64 ± 0,14 <sup>b</sup> |
| <sup>1</sup> Cenizas (%)  | 11,90 ± 0,13 <sup>a</sup> | 13,30 ± 0,12 <sup>b</sup> |
| <sup>1</sup> Proteína (%) | 17,10 ± 0,33 <sup>a</sup> | 20,40 ± 0,19 <sup>b</sup> |
| <sup>2</sup> Grasa (%)    | 17,30 ± 0,02 <sup>a</sup> | 6,20 ± 0,20 <sup>b</sup>  |
| CRA (g/g)                 | 4,11 ± 0,01 <sup>a</sup>  | 3,78 ± 0,04 <sup>b</sup>  |
| CAAc (g/g)                | 1,22 ± 0,01 <sup>a</sup>  | 1,68 ± 0,01 <sup>b</sup>  |
| Parámetros de color       |                           |                           |
| L*                        | 73,19 ± 0,27 <sup>a</sup> | 82,88 ± 0,29 <sup>b</sup> |
| a*                        | 5,95 ± 0,13 <sup>a</sup>  | 6,12 ± 0,09 <sup>a</sup>  |
| b*                        | 19,47 ± 0,55 <sup>a</sup> | 11,10 ± 0,34 <sup>b</sup> |

<sup>1</sup>Los valores están expresados en base seca y magra.

<sup>2</sup>Los valores están expresados en base seca.

*Abreviaturas:* SAE; salvado de arroz entero, SAD; salvado de arroz desgrasado, CRA; capacidad de retención de agua y CAAc; capacidad de absorción de aceite.

Los valores muestran la media ± desviación estándar, (n = 3)

Las medias con letras diferentes en superíndice en la misma fila son significativamente diferentes según la prueba de Tuckey (p < 0,05).

#### 4.1.1.4 Proteína

El salvado de arroz desgrasado (SAD) mostró un contenido de proteína significativamente mayor (20,40 ± 0,19%) que el salvado de arroz entero (17,10 ± 0,33%). La eliminación de la grasa durante el procesamiento del SAD aumenta la proporción de proteínas y otros nutrientes, haciendo que sea más rico en este componente. Según estudios previos, la extracción de grasas y lípidos aumenta notablemente la concentración de proteína cruda del salvado de arroz (Godber *et al.*, 2002; Iqbal, Bhanger y Anwar, 2005).

#### 4.1.1.5 Grasa

Como era de esperar, el salvado de arroz entero (SAE) presentó un contenido considerablemente más alto de grasa (17,30 ± 0,02%) en comparación con el salvado desgrasado (SAD), que contiene solo un 6,20 ± 0,20% de grasa. Esta diferencia refleja el proceso de desgrasado al que fue sometido SAD, lo que no solo reduce el contenido de lípidos, sino que también mejora su estabilidad y tiempo de almacenamiento. La mejora en la estabilidad se debe a la eliminación de una gran parte de los lípidos, que son propensos a la acción de las lipasas, enzimas que descomponen los triglicéridos en ácidos grasos libres. En el salvado entero, estos ácidos grasos pueden oxidarse rápidamente cuando se exponen al oxígeno, generando productos de oxidación que llevan a la rancidez, lo que deteriora su sabor, olor y calidad (Sahini y Mutegoa, 2023).

Al eliminar la mayor parte de los lípidos mediante el desgrasado, se reduce la cantidad de triglicéridos disponibles para ser descompuestos, lo que minimiza la acción de las lipasas. Esto, a su vez, disminuye significativamente la oxidación de los ácidos grasos libres, el principal

mecanismo detrás de la rancidez y la pérdida de calidad. Como resultado, el salvado desgrasado es menos susceptible a la degradación y puede mantenerse en condiciones de almacenamiento durante más tiempo sin que se deteriore.

La composición química del salvado depende de la variedad de arroz, el método de tratamiento del grano, el grado de pulido en la molienda, la tecnología utilizada y el procesamiento posterior del salvado de arroz. Por lo general, el contenido de aceite del salvado de arroz varía entre el 11 % y el 23 % según el genotipo del arroz (Wijarnprecha *et al.*, 2018). El grado del proceso de molienda afecta significativamente el contenido de aceite (Ijaz *et al.*, 2020). El grano de arroz contiene diferentes capas con variaciones en su contenido de grasa. El salvado y el germen, ubicados en las capas externas del grano, son particularmente ricos en lípidos. Estos componentes contienen una alta concentración de grasa en comparación con el endospermo, que es el núcleo del grano. Cuando el arroz se somete a un pulido bajo, se retienen una proporción mayor de capas externas, como el salvado y el germen, en el producto final. Esto resulta en un salvado con un mayor contenido de grasa, dado que estas partes del grano son las que contienen la mayor parte de los lípidos. En contraste, un pulido más intensivo elimina una mayor proporción de estas capas externas, reduciendo así el contenido de grasa en el salvado. La eliminación de salvado y germen durante un pulido alto reduce significativamente la proporción de grasa por un efecto de dilución con el endospermo relativamente magro, ya que estas capas externas son las principales fuentes de lípidos en el grano de arroz (Tran *et al.*, 2018).

#### **4.1.1.6 Capacidad de Retención de Agua (CRA)**

La capacidad de retención de agua del salvado de arroz entero fue de  $4,11 \pm 0,01$  g/g y del salvado desgrasado fue de  $3,78 \pm 0,04$  g/g. Estos resultados se pueden comparar con los obtenidos por Rafe y Sadeghian (2017), quienes evaluaron el efecto de la extrusión sobre el salvado de arroz estabilizado, obteniendo capacidades de absorción de agua de  $2,56 \pm 0,46$  g/g y  $2,72 \pm 0,33$  g/g para las variedades Tarom y Domesiah, respectivamente.

El tratamiento de estabilización en nuestro estudio se realizó en autoclave a 125 °C, mientras que Rafe y Sadeghian utilizaron extrusión a 123 °C. Aunque las temperaturas son cercanas, los métodos de estabilización son diferentes: la extrusión implica una combinación de alta temperatura, presión y cizallamiento, mientras que la estabilización en autoclave se basa principalmente en la temperatura y presión sin el mismo nivel de cizallamiento.

A pesar de estas diferencias, los resultados en este estudio, que muestran una capacidad de retención de agua significativamente mayor, pueden compararse con los valores obtenidos después de la extrusión en el estudio de Rafe y Sadeghian. Esta similitud sugiere que el aumento en la capacidad de retención de agua puede ser parcialmente atribuido al efecto de la temperatura

de estabilización, aunque el método de aplicación de la temperatura (autoclave frente a extrusión) también juega un papel importante.

#### **4.1.1.7 Capacidad de Absorción de Aceite (CAAc)**

La alta capacidad de absorción de aceite es un factor importante en la formulación de sistemas alimentarios como salchichas (Rafe y Sadeghian, 2017). El salvado desgrasado presentó una capacidad de retención de aceite significativamente mayor ( $1,68 \pm 0,01$  g/g) en comparación con el salvado entero ( $1,22 \pm 0,01$  g/g). Esta mayor capacidad en el SAD puede explicarse por su mayor proporción de fibra y proteína, que pueden interactuar mejor con los aceites en comparación con el salvado entero, donde los lípidos ya presentes limitan esta capacidad.

#### **4.1.1.8 Propiedades de Color**

Las propiedades de color revelaron diferencias significativas entre el salvado de arroz entero (SAE) y el salvado desgrasado (SAD). El valor de luminosidad ( $L^*$ ) del SAD fue notablemente más alto ( $82,88 \pm 0,29$ ) en comparación con el SAE ( $73,19 \pm 0,27$ ), indicando que el salvado desgrasado es significativamente más claro. Este aumento en la luminosidad del SAD puede atribuirse a la eliminación de compuestos colorantes asociados con el aceite presente en el salvado entero. El aceite contiene pigmentos como carotenos y clorofila (Orthoefer, 2005) que contribuyen a una tonalidad más oscura en el salvado, y su eliminación durante el proceso de desengrase resulta en un producto de color más claro.

En cuanto al valor  $a^*$ , que mide la intensidad del color rojo, los resultados fueron similares entre SAE ( $5,95 \pm 0,13$ ) y SAD ( $6,12 \pm 0,09$ ), lo que indica que el contenido de pigmentos rojos en ambos tipos de salvado es comparable. Esto sugiere que la eliminación de grasa no afectó significativamente la presencia de pigmentos rojos en el salvado de arroz.

Sin embargo, el valor  $b^*$ , que refleja la intensidad del color amarillo, mostró una diferencia más pronunciada. El salvado entero (SAE) presentó un valor  $b^*$  de  $19,47 \pm 0,55$ , significativamente mayor que el valor  $b^*$  de  $11,10 \pm 0,34$  del salvado desgrasado. Esta diferencia en la intensidad del color amarillo puede atribuirse a la presencia de compuestos fenólicos y carotenoides presentes en el aceite del salvado entero. Durante el proceso de desengrase, la eliminación del aceite probablemente disminuyó la concentración de estos pigmentos, lo que resultó en una menor intensidad de color amarillo en el salvado desgrasado.

#### **4.1.2 Cuantificación de proteínas del salvado de arroz desgrasado**

Después de realizar la precipitación de las proteínas del salvado de arroz mediante tratamiento alcalino, la cuantificación utilizando el método de Bradford reveló un contenido proteico de tan solo  $37,18 \pm 1,02$  mg/g. Además, el rendimiento de extracción obtenido fue limitado, alcanzando

únicamente el  $22,20 \pm 0,61\%$ . Estos resultados sugieren que, aunque el método alcalino es efectivo para extraer proteínas, su eficiencia es relativamente baja en comparación con otros métodos de extracción proteica. Este rendimiento limitado podría estar relacionado con la naturaleza compleja de la matriz del salvado de arroz, donde la interacción entre las proteínas, los lípidos y otros componentes dificulta una extracción más completa. Dado que las proteínas no son un componente principal del grano de arroz, a menudo están asociadas o ligadas a otros elementos, como la pared celular o el almidón. Por ejemplo, el salvado de arroz tiene un alto contenido de fibra (12%), lo que complica la separación de las proteínas de otros componentes (Wang *et al.*, 1999; Fabian y Ju, 2011). Aunque el método de extracción alcalina es uno de los más utilizados, los rendimientos obtenidos son relativamente bajos. Las dificultades para extraer proteínas del salvado de arroz, en comparación con otras semillas oleaginosas, sugieren que la proteína de arroz presenta una mayor complejidad para su extracción (Fabian y Ju, 2011).

Gupta *et al.* (2008) realizaron extracciones alcalinas utilizando un pH más bajo y ajustaron parámetros como la temperatura para maximizar el rendimiento de proteínas. Sus resultados mostraron que, a un pH de 9,5, el rendimiento de proteína de salvado de arroz aumentó significativamente, pasando del 21% al 48% a medida que la temperatura de extracción se incrementaba de 30 °C a 75 °C. De manera similar, varios investigadores han reportado que el uso de solventes alcalinos en un rango de pH de 8 a 12 mejora notablemente el rendimiento de extracción de proteínas, alcanzando valores entre el 30% y el 80% (Phongthai *et al.*, 2017). Zhang *et al.* (2012), por su parte, lograron un rendimiento de extracción proteica del 32,9% a un pH de 9,5, mediante agitación y manteniendo la temperatura a 50 °C durante 2 horas.

A pesar de que la literatura sugiere que el ajuste de condiciones como el pH y la temperatura puede mejorar significativamente el rendimiento de extracción de proteínas del salvado de arroz, en este estudio se optó por condiciones experimentales que se adaptaran a las capacidades y restricciones del laboratorio, al tiempo que se buscó preservar la calidad de las proteínas extraídas.

Se eligió un pH alcalino moderado de 9,5 para la extracción. Esta elección se basó en la necesidad de evitar la desnaturalización y la hidrólisis excesiva de las proteínas, condiciones que pueden ser inducidas por pH más altos. Wang *et al.* (1999) destacan que un pH elevado puede aumentar la reacción de Maillard, lo que da lugar a productos de color oscuro y puede conducir a la extracción de componentes no proteicos que co-precipitan con las proteínas, reduciendo así su calidad. Un pH de 9,5 proporcionó un equilibrio adecuado, minimizando estos efectos adversos mientras permitía la extracción de las proteínas del salvado de arroz.

En cuanto a la temperatura, se mantuvo a 45 °C para reducir el riesgo de desnaturalización proteica. Temperaturas más altas podrían acelerar la degradación de las proteínas, afectando



negativamente su funcionalidad y calidad. Esta temperatura moderada ayudó a preservar la integridad de las proteínas durante el proceso de extracción.

Las limitaciones prácticas del laboratorio también influyeron en la elección de las condiciones experimentales. La falta de equipos y materiales adecuados para una extracción a gran escala, como tubos grandes, centrifugas apropiadas y un agitador a baño maría para mantener una temperatura constante, impidió la implementación de condiciones óptimas descritas en la literatura. La utilización de un vortex para la agitación periódica y la imposibilidad de escalar el proceso a mayores volúmenes llevó a seleccionar condiciones experimentales que se ajustaran a los recursos disponibles.

### **4.1.3 Propiedades funcionales de las proteínas extraídas del salvado de arroz desgrasado**

#### **4.1.3.1 Solubilidad**

La solubilidad de las proteínas es un factor clave para su funcionalidad en alimentos y sirve como un excelente indicador del potencial de sus aplicaciones en diversas formulaciones alimentarias. A pH 5, la solubilidad de las proteínas es la más baja con un  $26,65 \pm 0,90\%$  (**Tabla 16**), lo cual se podría atribuir a la cercanía de este valor al punto isoelectrico de las proteínas (4,5), donde tienden a ser menos solubles debido a la mínima carga neta.

Al aumentar el pH a 7, 9 y 11, la solubilidad incrementa significativamente, alcanzando su máximo valor a pH 11 con un  $64,39 \pm 0,60\%$  (**Figura 8**). Esto sugiere que las proteínas del salvado de arroz presentan mayor solubilidad en condiciones alcalinas, debido a la mayor carga negativa que incrementa la repulsión electrostática y la solubilidad.

Rafe y Sadeghian (2017) observaron que la solubilidad proteica más baja en el salvado de arroz estabilizado se registró a un pH de 4,0, cercano al punto isoelectrico de la proteína. Además, reportaron un aumento gradual en la solubilidad al superar este punto, evidenciando que la solubilidad proteica en soluciones acuosas está directamente influenciada por el pH. De manera similar, Wang *et al.* (1999) reportó que la solubilidad de los aislados de proteína de arroz en agua es mínima a pH 4,0 y aumenta gradualmente tanto por debajo de este valor como por encima de pH 6,0, alcanzando su máximo a pH 10. Según Yeom *et al.* (2010), en condiciones de pH extremadamente ácidas o alcalinas, las proteínas adquieren cargas netas positivas o negativas, lo que genera repulsión electrostática y mayor hidratación iónica, promoviendo la solubilización de la proteína.

**TABLA 16.** PROPIEDADES FUNCIONALES DE LAS PROTEÍNAS EXTRAÍDAS DEL SALVADO DE ARROZ DESGRASADO.

| pH | Solubilidad (%)           | Capacidad de formación de espuma (%) | Estabilidad de la espuma (%) |
|----|---------------------------|--------------------------------------|------------------------------|
| 5  | 26,65 ± 0,90 <sup>a</sup> | 1,15 ± 0,21 <sup>a</sup>             | 71,00 ± 5,66 <sup>a</sup>    |
| 7  | 60,55 ± 1,21 <sup>b</sup> | 3,00 ± 0,42 <sup>b</sup>             | 66,25 ± 5,30 <sup>a</sup>    |
| 9  | 55,44 ± 1,21 <sup>c</sup> | 3,15 ± 0,21 <sup>b</sup>             | 79,00 ± 1,41 <sup>ab</sup>   |
| 11 | 64,39 ± 0,60 <sup>b</sup> | 6,83 ± 0,24 <sup>c</sup>             | 82,98 ± 2,86 <sup>b</sup>    |

Los valores muestran la media ± desviación estándar, (n = 3).  
 Las medias con letras diferentes en superíndice en la misma columna son significativamente diferentes según la prueba de Tuckey (*p* < 0,05).

#### 4.1.3.2 Capacidad de formación de espuma y estabilidad

La capacidad de formación de espuma es una propiedad funcional básica de las proteínas. Para tener una alta capacidad de formación de espuma, las proteínas deben solubilizarse y absorberse rápidamente en la interfaz aire-agua durante el batido antes de sufrir un rápido cambio de conformación y reorganización o formar una capa de tamiz cohesivo en la interfaz y luego reducir la tensión de la interfaz repentinamente (Yeom *et al.*, 2010). La capacidad de formación de espuma muestra una tendencia creciente a medida que aumenta el pH (**Figura 9**). A pH 5, se observa un valor mínimo de 1,2 ± 0,21%, mientras que a pH 11 se registra un aumento significativo, alcanzando 6,8 ± 0,24%. No se encontraron diferencias significativas (*p* < 0,05) entre los valores de pH 7 y 9, con capacidades de 3,0 ± 0,42% y 3,2 ± 0,21%, respectivamente (**Tabla 16**). Estos resultados sugieren que, en condiciones alcalinas, las proteínas adquieren mayor flexibilidad estructural, lo que favorece su adsorción en la interfase aire-agua y facilita la formación de espuma. Phongthai *et al.* (2016) observaron que la capacidad de formación de espuma de las proteínas de arroz aumentaba con el incremento del pH. De manera similar, Zhang *et al.* (2012) reportaron que la actividad espumante de la proteína de arroz se incrementó significativamente cuando el pH se elevó de 3 a 9, lo que evidencia una mejora en la capacidad de formación de espuma en condiciones menos ácidas.

La estabilidad de la espuma no presenta variaciones tan marcadas como la capacidad de formación, pero sí muestra un incremento a pH 9 y 11 (**Figura 9**). A pH 5 y 7, la estabilidad es similar (71 ± 5,66% y 66 ± 5,30%, respectivamente), mientras que en pH 11 alcanza su valor más alto (83 ± 2,86%). Estos resultados contrastan con lo reportado por Phongthai *et al.* (2016), quienes indicaron que las proteínas presentaron su mayor estabilidad espumante a pH 4,0, disminuyendo a medida que aumentaba el pH. Este comportamiento podría explicarse por la baja carga neta de las proteínas en su punto isoelectrico, lo que reduce las repulsiones electrostáticas

y favorece las interacciones proteína-proteína, facilitando la formación de una película viscosa en la interfase, tal como señalaron (Guan *et al.*, 2007).

#### **4.1.3.3 Capacidad de absorción de agua (CAA) y aceite (CAAc)**

La capacidad de absorción de agua del concentrado de proteína de salvado de arroz fue de  $2,5 \pm 0,06$  g agua/g proteína de salvado de arroz. Según la literatura, valores de capacidad de absorción de agua que varían entre 1,5 y 4,7 g/g son considerados críticos para alimentos viscosos como sopas y salsas (Aletor, Oshodi y Ipinmoroti, 2002).

En cuanto a la capacidad de absorción de aceite, que es crucial para mejorar la sensación en boca y la retención del sabor en productos alimenticios, el resultado obtenido en este estudio fue de  $4,7 \pm 0,05$  g aceite/g proteína de salvado de arroz. Chandi y Sogi (2007) reportaron que la capacidad de absorción de aceite de los concentrados de proteína de salvado de arroz variaba entre 3,7 y 9,2 g/g, y destacaron que estos concentrados mostraban una mayor capacidad de absorción de aceite en comparación con la caseína. El mecanismo de la capacidad de absorción de aceite se atribuye a la combinación del atrapamiento físico del aceite y la hidrofobicidad del material (He, Franco y Zhang, 2013).

## **4.2 Experimento B: Formulación y preparación de emulsiones cárnicas para la obtención de salchichas híbridas.**

Una vez obtenidas las emulsiones, se procedió a medir los parámetros reológicos para evaluar su comportamiento viscoelástico. Estas mediciones se realizaron inmediatamente después de la preparación de las emulsiones para obtener una línea base del comportamiento reológico. Además, se sometieron las emulsiones a un periodo de reposo de 24 horas a 4 °C para simular las condiciones de almacenamiento típicas en las industrias. Tras este tiempo, se realizaron mediciones adicionales de los parámetros reológicos.

Durante la elaboración de las salchichas híbridas, se observó que, tras 24 horas de reposo a 4 °C, la masa cárnica presentaba una mayor viscosidad y una estructura más densa, lo que dificultaba el embutido. Esta observación se confirmó con mediciones reológicas, que mostraron un incremento en la consistencia de la emulsión después del reposo. Para evitar complicaciones durante el embutido, se decidió embutir inmediatamente después de obtener la emulsión cárnica, antes de que el reposo afectara su manejabilidad. Posteriormente, las salchichas embutidas se dejaron reposar a 4 °C durante 24 horas antes de su cocción y análisis. Así pues, el reposo dentro de la tripa se planteó como una alternativa al proceso tradicional, ya que minimiza las manipulaciones posteriores y favorece una mayor retención de agua y grasa debido a la compresión ligera que ejerce la tripa sobre la emulsión.

### 4.2.1 Análisis reológico de las emulsiones cárnicas

En la tabla 17 se presentan las medias de los resultados obtenidos en el análisis reológico de las emulsiones cárnicas. Se evaluaron tres parámetros claves: el módulo de almacenamiento ( $G'$ ) que indica la elasticidad de la emulsión, el módulo de pérdida ( $G''$ ) que refleja su viscosidad, y la viscosidad dinámica compleja  $|\eta^*|$  que proporciona una medida de la resistencia al flujo bajo condiciones dinámicas. Estas mediciones se realizaron tanto en muestras recién preparadas como en aquellas que habían reposado durante 24 horas a 4 °C. Este enfoque permite comparar la estabilidad estructural y las propiedades viscoelásticas de las emulsiones antes y después del período de reposo.

En todas las muestras analizadas, el módulo de almacenamiento ( $G'$ ) fue mayor que el módulo de pérdida ( $G''$ ), esto indica que las emulsiones cárnicas fueron predominantemente elásticas que viscosas. Resultados similares se informaron previamente para diferentes emulsiones cárnicas (Karaman *et al.*, 2011; Kurt y Gençcelep, 2018; Ming-Min y Ismail-Fitry, 2023; Santos *et al.*, 2022; Zhao *et al.*, 2019).

Tanto en las muestras de control como en las formulaciones que contienen fibra (salvado de arroz) y diferentes tipos de grasa (coco y Vegelip), se observa un aumento en los parámetros reológicos después de que las emulsiones cárnicas se mantuvieran en reposo durante 24 horas a 4 °C. Estas diferencias son significativas ( $p < 0,05$ ) en comparación con las emulsiones cárnicas sin reposo. Esto podría explicarse por una serie de cambios estructurales que ocurren en este período de tiempo y a esa temperatura como, por ejemplo, la interacción y reordenamiento de los componentes de la emulsión, como las proteínas, grasas, agua, y otros ingredientes. Según Fox *et al.* (2000), durante el enfriamiento, la solidificación (cristalización) de la grasa, las interacciones proteína-proteína y las interacciones entre los glóbulos de grasa emulsionados dispersos dan como resultado la formación de la matriz tridimensional.

Sin embargo, en las formulaciones F1, F2 y F3, las cuales solo poseen aislado de proteína de arroz, no se observaron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) en los parámetros reológicos entre las emulsiones cárnicas sin reposo y con reposo de 24 horas a 4 °C. Asimismo, arrojaron valores más bajos que las muestras de control. Esto concuerda con los resultados de Santos *et al.* (2022), quienes informaron que ambos módulos viscoelásticos ( $G'$  y  $G''$ ) disminuyeron al incorporar proteínas vegetales a emulsiones cárnicas, siendo el efecto más marcado cuando se utilizaron proteínas de arroz. Además, sugirieron que estas proteínas posiblemente indujeron a una inadecuada dispersión de los glóbulos de grasa debido a su baja estabilidad de emulsión. Este comportamiento podría explicarse por las diferencias en las propiedades funcionales entre las proteínas de origen animal y vegetal. La proteína de arroz carece de la misma capacidad que

tienen las proteínas cárnicas para formar redes tridimensionales más cohesivas y podría no interactuar de manera óptima con los lípidos presentes en la emulsión.

Las formulaciones F5, F7 y F11, con un periodo de reposo de 24 horas, y un 6% de fibra, exhibieron los valores más elevados en cuanto a propiedades reológicas. En contraste, las formulaciones con solo un 3% de fibra mostraron parámetros reológicos significativamente inferiores ( $p < 0,05$ ) en comparación con aquellas que contienen un 6% de fibra. Esto ocurre porque al añadir fibra dietética a un producto tipo emulsión, provoca el aumento de la consistencia debido a la capacidad de unión de agua y la capacidad de absorción de grasa de las fibras dietéticas (Dogan *et al.*, 2013; Sariçoban *et al.*, 2008, 2010; Yapar *et al.*, 2006). En cantidades moderadas, la fibra actúa como un estabilizador que ayuda a mantener la emulsión cohesionada, pero a medida que aumenta la cantidad de fibra añadida, ésta actúa como un agente de relleno en la matriz de la emulsión, ocupando espacio dentro de la red proteica y puede llegar a absorber tanta agua que la emulsión se vuelve densa, menos flexible y más resistente a la deformación. A concentraciones más altas de fibra, la estructura compleja tiene más zonas de unión que proporcionan la formación de redes macromoleculares (Kurt y Gençcelep, 2018). Varios autores han reportado el aumento de los módulos viscoelásticos al aumentar las concentraciones de sólidos o fibras dietéticas en emulsiones cárnicas (Ağar *et al.*, 2016; Kurt y Gençcelep, 2018; Ming-Min y Ismail-Fitry, 2023; Zhao *et al.*, 2019).

Además, se observó que el tipo de grasa influye en los parámetros reológicos, como se refleja al comparar F5 con F11 y F8 con F12. Esto podría deberse a la composición química de las grasas. La grasa de coco, que contiene una mayor cantidad de ácidos grasos saturados, aporta mayor consistencia a la masa cárnica. En contraste, el Vegelip, compuesto por grasa de karité (55%) y aceite de girasol (45%), tiene una composición más equilibrada entre ácidos grasos saturados e insaturados, lo que proporciona mayor suavidad a la masa cárnica.

La muestra control sin reposo no presentó diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) con la formulación F13 (sin reposo) en cuanto a módulo de almacenamiento ( $G'$ ) y viscosidad dinámica compleja  $|\eta^*|$ , pero no así en cuanto al módulo de pérdida ( $G''$ ). Esto sugiere que la estructura interna de la emulsión en F13 proporciona una capacidad de almacenamiento de energía y resistencia al flujo oscilatorio comparable a la del control. Sin embargo, la diferencia significativa en el módulo de pérdida ( $G''$ ) entre F13 y el control podría estar relacionada con el tipo de grasa utilizada en F13 (Vegelip), que difiere de la grasa de coco presente en el control. Además, en las formulaciones con grasa de coco se incluye también el aceite de arroz proveniente del salvado, lo que puede haber influido adicionalmente en las propiedades reológicas observadas. Por otro lado, la muestra control que ha reposado 24 h a 4 °C no presentó diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) con las formulaciones reposadas F6 y F8. Esto podría indicar que la fibra de salvado de arroz y el aislado

de proteína en combinación con la grasa de coco, permiten que alcancen un comportamiento reológico equivalente al del control tras el reposo.



**TABLA 17.** RESULTADOS DEL ANÁLISIS REOLÓGICO DE LAS EMULSIONES CÁRNICAS

| <b>Muestra</b> | <b>Proteína cárnica<br/>(%)</b> | <b>Proteína de arroz<br/>(%)</b> | <b>Fibra<br/>(%)</b> | <b>Tipo de<br/>grasa</b> |
|----------------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------|--------------------------|
| Control        | 100                             | 0                                | 0                    | Coco                     |
|                | 100                             | 0                                | 0                    | Coco                     |
| F1             | 60                              | 40                               | 0                    | Coco                     |
|                | 60                              | 40                               | 0                    | Coco                     |
| F2             | 50                              | 50                               | 0                    | Coco                     |
|                | 50                              | 50                               | 0                    | Coco                     |
| F3             | 40                              | 60                               | 0                    | Coco                     |
|                | 40                              | 60                               | 0                    | Coco                     |
| F4             | 60                              | 40                               | 3                    | Coco                     |
|                | 60                              | 40                               | 3                    | Coco                     |
| F5             | 60                              | 40                               | 6                    | Coco                     |
|                | 60                              | 40                               | 6                    | Coco                     |
| F6             | 50                              | 50                               | 3                    | Coco                     |
|                | 50                              | 50                               | 3                    | Coco                     |
| F7             | 50                              | 50                               | 6                    | Coco                     |
|                | 50                              | 50                               | 6                    | Coco                     |
| F8             | 40                              | 60                               | 3                    | Coco                     |
|                | 40                              | 60                               | 3                    | Coco                     |
| F9             | 40                              | 60                               | 6                    | Coco                     |
|                | 40                              | 60                               | 6                    | Coco                     |
| F10            | 60                              | 40                               | 3                    | Vegelip                  |
|                | 60                              | 40                               | 3                    | Vegelip                  |

|     |    |    |   |         |
|-----|----|----|---|---------|
| F11 | 60 | 40 | 6 | Vegelip |
|     | 60 | 40 | 6 | Vegelip |
| F12 | 40 | 60 | 3 | Vegelip |
|     | 40 | 60 | 3 | Vegelip |
| F13 | 40 | 60 | 6 | Vegelip |
|     | 40 | 60 | 6 | Vegelip |

Los valores muestran la media  $\pm$  desviación estándar, (n = 6).  
Las medias con diferentes letras en superíndice en la misma columna son significativam

#### 4.2.2 Rendimiento de cocción

La Tabla 18 presenta los resultados del rendimiento de cocción (%) de las distintas formulaciones de salchichas. La muestra control (C), compuesta exclusivamente por proteína cárnica y sin adición de fibra, mostró el menor rendimiento de cocción ( $84.33 \pm 3.08\%$ ), lo que podría deberse a la desnaturalización de las proteínas de la carne y la consecuente pérdida de agua y grasa durante el procesamiento térmico (Turhan *et al.*, 2005). Sin embargo, este efecto puede ser mitigado con la incorporación de otros componentes, como la fibra, que contribuyen a mejorar la retención de agua y grasa durante el proceso de cocción.

Las muestras F1, F2 y F3, que contienen distintas proporciones de proteína cárnica y vegetal, pero que no incluyeron fibra, mostraron un rendimiento de cocción ligeramente superior al de la muestra control, alcanzando valores de  $88.13 \pm 1.47\%$ ,  $88.00 \pm 0.90\%$  y  $84.88 \pm 1.50\%$ , respectivamente. Sin embargo, no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre estas formulaciones ( $p > 0.05$ ), lo que sugiere que la sustitución parcial de proteína cárnica por proteína de arroz no afecta de manera sustancial el rendimiento de cocción en ausencia de fibra. Shoaib *et al.* (2018) observaron que el aislado de proteína de arroz agregado condujo a una pérdida por cocción significativamente menor en *nuggets* de pollo. En contraste, Lin y Barbut (2024) informaron que la proteína de arroz presentó una retención de agua inferior en comparación con otras proteínas vegetales. Como resultado, la pérdida por cocción en las emulsiones cárnicas híbridas fue aproximadamente un 70% mayor en comparación con el control. Los autores sugirieron que esto se debía a la alta hidrofobicidad superficial y la baja solubilidad de las proteínas de arroz.

La adición de fibra, por otro lado, tuvo un impacto significativo en el rendimiento de cocción. Las muestras F4 a F13, que incluyen fibra en diferentes proporciones (3% y 6%), mostraron un aumento en el rendimiento de cocción en comparación con las formulaciones sin fibra. En particular, la muestra F5, que contiene 6% de fibra y grasa de coco, alcanzó el mayor rendimiento de cocción ( $91.50 \pm 2.71\%$ ), lo que indica una mejora notable en la retención de agua y grasa durante la cocción. Estudios previos han demostrado que el rendimiento de cocción mejora cuando se agrega fibra dietética debido a su capacidad de retención de agua y grasa (Choi *et al.*, 2014; Ktari *et al.*, 2014; Petersson *et al.*, 2014). La incorporación de salvado de arroz en las emulsiones cárnicas no solo enriquece el producto con fibra dietética, sino que también añade almidón. Como resultado, la alta capacidad de retención de agua en las salchichas durante el procesamiento térmico se debe no solo a la gelificación simultánea de la proteína de la carne y la retención de las fibras dietéticas, sino también al hinchamiento de los gránulos de almidón (Petersson *et al.*, 2014). Varios autores han reportado que la incorporación de salvado de arroz en

emulsiones cárnicas mejora el rendimiento de cocción y disminuye las pérdidas por cocción (Aviles *et al.*, 2023; Choi *et al.*, 2011; Huang *et al.*, 2005; Wang *et al.*, 2024).

Por otra parte, se observó que el tipo de grasa utilizado también influye en el rendimiento de cocción. Las formulaciones que contenían grasa de coco tendieron a mostrar un rendimiento de cocción superior en comparación con aquellas que utilizaban Vegelip. Por ejemplo, la formulación F4 (60% proteína cárnica, 3% fibra, grasa de coco) tuvo un rendimiento de cocción de  $89.71 \pm 0.77\%$ , mientras que la formulación F10 (60% proteína cárnica, 3% fibra, Vegelip) mostró un rendimiento de cocción inferior ( $85.86 \pm 5.20\%$ ). Esto sugiere que las propiedades fisicoquímicas de la grasa de coco, como su mayor punto de fusión ( $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), podrían contribuir a una estructura de gel más estable durante la cocción en comparación con Vegelip, que tiene un punto de fusión de  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

En general, los resultados indican que la inclusión de fibra, especialmente en combinación con grasa de coco, mejora significativamente el rendimiento de cocción, indicando una mejor retención de humedad y grasa durante el proceso térmico.

**TABLA 18.** RENDIMIENTO DE COCCIÓN DE LAS SALCHICHAS

| <b>Muestra</b> | <b>Proteína cárnica<br/>(%)</b> | <b>Proteína de arroz<br/>(%)</b> |
|----------------|---------------------------------|----------------------------------|
| C              | 100                             | 0                                |
| F1             | 60                              | 40                               |
| F2             | 50                              | 50                               |
| F3             | 40                              | 60                               |
| F4             | 60                              | 40                               |
| F5             | 60                              | 40                               |
| F6             | 50                              | 50                               |
| F7             | 50                              | 50                               |
| F8             | 40                              | 60                               |
| F9             | 40                              | 60                               |
| F10            | 60                              | 40                               |
| F11            | 60                              | 40                               |
| F12            | 40                              | 60                               |
| F13            | 40                              | 60                               |

Los valores muestran la media  $\pm$  desviación estándar, (n = 6).

Las medias con diferentes letras en superíndice en la misma columna

### 4.2.3 Análisis de perfil de textura (TPA)

Los resultados obtenidos en las salchichas de diferentes formulaciones (**Tabla 19**) muestran diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en las propiedades texturales. Estas diferencias dependen de la combinación de ingredientes utilizados, en particular la proporción de proteína cárnica y proteína de arroz, así como la adición de fibra y el tipo de grasa.

#### 4.2.3.1 Dureza

A medida que se incrementó la proporción de proteína de arroz, las muestras F1, F2 y F3, presentaron una disminución notable en la dureza, siendo significativamente ( $p < 0,05$ ) menos duras que la muestra control (C). Esto concuerda con Dos Santos *et al.* (2022), quienes reportaron que la dureza y la resiliencia fueron los atributos más afectados por la sustitución parcial de carne por proteínas vegetales. La muestra control mostró el parámetro más alto de dureza debido a la desnaturalización por calor, seguido de la gelificación de proteínas miofibrilares, principalmente miosina, quien fue el principal responsable del aumento de la dureza en las emulsiones de carne híbridas, ya que las proteínas vegetales tuvieron una contribución no observada a la desnaturalización/gelificación durante la cocción (hasta 80 °C). Además, Lin *et al.* (2024) observaron que las proteínas de arroz integral produjeron agregados pequeños que se dispersaron por toda la matriz de gel de proteína miofibrilar y atribuyeron esto a la pobre capacidad de gelificación de la proteína de arroz, lo que resultó en un menor impacto en la dureza de las emulsiones cárnicas híbridas.

La adición de fibra (salvado de arroz) en las muestras F4 a F9, especialmente en combinación con grasa de coco, resultó en un aumento significativo de la dureza, alcanzando valores tan altos como  $55,85 \pm 5,03$  N en la muestra F5. Choi *et al.* (2015) observaron que las salchichas de Frankfurt formuladas con fibra de salvado de arroz presentaban una mayor dureza en relación con las salchichas sin fibra de salvado de arroz añadida. Aviles *et al.* (2023) reportaron el incremento en el valor de la dureza al añadir salvado de arroz como sustituto de carne en hamburguesas híbridas de pollo. Asimismo, Yadav *et al.* (2018) indicaron que la adición de salvado de trigo en niveles de 3 %, 6 % y 9 % aumenta la dureza de las salchichas de pollo. Los autores sugirieron que la incorporación de fibra dietética podría aumentar la consistencia de los productos cárnicos al formar una red tridimensional.

Según Younis *et al.* (2022) el efecto de la adición de fibra en productos cárnicos sobre las propiedades texturales es diferente dependiendo del tipo y el nivel de la fibra añadida y se ve afectado por la presencia de otros ingredientes. El salvado de arroz se compone principalmente por fibra dietética (20,5%–33,3%) y la mayor parte la constituye la fibra dietética insoluble (FDI), porque está compuesta de celulosa, hemicelulosa y lignina, y solo una pequeña proporción es



soluble (Daou y Zhang, 2012; Liu *et al.*, 2021). Wang *et al.* (2021b) indicaron que la FDI contribuye a producir una microestructura más densa al acelerar la conversión de agua libre en agua inmovilizada y, según estudios previos, la FDI mejora eficazmente las propiedades de gel de las proteínas miofibrilares (PM) (Ferjančič *et al.*, 2021; Santos *et al.*, 2021). Por otro lado, Wu *et al.*, (2023) sugirieron que una mayor interacción FDI-PM probablemente da como resultado una estructura de gel más fuerte durante el calentamiento. Además, la FDI puede absorber una gran cantidad de agua debido a su amplia área de superficie y propiedades poliméricas (Chen, 2006). La fibra provoca deshidratación, lo que aumenta la concentración de proteínas, y la grasa queda inmovilizada por las proteínas, que llenan los espacios vacíos en la matriz del gel. La mayor gelificación del gel de la carne picada en presencia de fibra y grasa indica un efecto aditivo en la resistencia del gel (Debusca *et al.*, 2013). La capacidad de la fibra para formar un gel firme es evidentemente importante para mantener las propiedades de las salchichas con adición de fibra (Petersson *et al.*, 2014).

Por otra parte, no se observaron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre las muestras F4, F6, F8 y F10, todas con 3% de fibra, aunque con diferentes proporciones de proteína cárnica y de arroz. Esto sugiere que la fibra podría tener un efecto nivelador en las propiedades texturales de las salchichas, independientemente de la proporción específica de proteínas utilizadas. Asimismo, tampoco se observaron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre la muestra control y las muestras F9 y F11. Mientras tanto, F3 y F12 fueron significativamente las menos duras ( $p < 0,05$ ) entre todas las muestras.

También se observa que el uso de la grasa Vegelip en las muestras F10 a F13 resultó en una reducción de la dureza en comparación con sus contrapartes que contenían grasa de coco. Esto sugiere que Vegelip podría estar proporcionando una menor cohesión a la matriz cárnica, disminuyendo así la resistencia a la compresión.

#### **4.2.3.2 Cohesividad**

La cohesividad de las salchichas híbridas fue significativamente influenciada por las variaciones en la formulación. La muestra de control (C) presentó la mayor cohesividad ( $0,71 \pm 0,03$ ), lo que sugiere una estructura interna bien formada y capaz de resistir la deformación bajo estrés mecánico. A medida que se incrementó la sustitución de proteína cárnica por proteína de arroz, la cohesividad disminuyó notablemente, especialmente en las formulaciones sin fibra (F2 y F3). Esto indica una menor capacidad de la proteína de arroz para mantener la integridad estructural en comparación con la proteína cárnica, lo que concuerda con los hallazgos de Lin y Barbut (2024). Estos autores observaron que la proteína de arroz, entre otras proteínas vegetales, tuvo un impacto limitado en la cohesión de la masa cárnica híbrida, y que su efecto solo se hizo significativo a niveles de inclusión superiores al 12%. Esto indica que la proteína de arroz no

interactúa de manera eficiente con las proteínas miofibrilares, limitando su capacidad para contribuir a la cohesión de la matriz.

La adición de fibra en las formulaciones F4 a F9 ayudó a mantener o incluso mejorar la cohesividad en comparación con las formulaciones sin fibra. Este efecto puede atribuirse a la capacidad de la fibra para actuar como un agente estructurante, mejorando la estabilidad de la matriz cárnica. Huang *et al.* (2005) también observaron que, aunque la dureza aumentaba con la adición de salvado de arroz, la cohesión no mostró un incremento significativo en albóndigas emulsionadas de cerdo, lo que sugiere que la relación entre dureza y cohesión no es lineal ni necesariamente correlativa. En contraste, Choi *et al.* (2011) reportaron que las salchichas con emulsión reducida en grasa, enriquecidas con fibra de arroz integral, presentaron una mayor dureza y cohesión, lo que resalta la importancia de la fibra y su interacción con otros componentes de la matriz en la determinación de la cohesividad.

#### **4.2.3.3 Elasticidad**

La elasticidad siguió una tendencia similar a la cohesividad. La muestra de control, compuesta exclusivamente por proteína cárnica, mostró un valor de elasticidad relativamente alto ( $0,88 \pm 0,04$ ). Sin embargo, este valor disminuyó a medida que se incrementó la proporción de proteína de arroz, especialmente en muestras sin adición de fibra, como F2, lo que sugiere una reducción en la capacidad de recuperación de la estructura después de la deformación. Contrario a esto, estudios previos, como el realizado por Santos *et al.* (2022), han reportado que la inclusión de proteína de arroz en emulsiones cárnicas híbridas no afectó significativamente la elasticidad del producto. No obstante, en este estudio, se observó una tendencia a la disminución de la elasticidad con el aumento de la proteína de arroz y la disminución de la proteína cárnica, lo que podría indicar que factores adicionales, como la interacción con otros componentes de la matriz o el procesamiento, juegan un papel crucial en la determinación de esta propiedad textural.

Las formulaciones con fibra (F4 a F9) lograron mantener la elasticidad en niveles más comparables al control. Huang *et al.* (2005) indicaron que la elasticidad no mostró un aumento significativo al aumentar la cantidad de salvado de arroz en las albóndigas emulsionadas de cerdo.

Al sustituir la grasa de coco por Vegelip, se observó una disminución más pronunciada en la elasticidad, especialmente en las formulaciones con alto contenido de fibra (F12 y F13). La menor interacción entre la grasa Vegelip y las proteínas de la matriz, especialmente en entornos con alta fibra, podría contribuir a una reducción significativa en la elasticidad de las formulaciones de salchichas híbridas. La grasa y la proteína tienen un efecto sinérgico en la elasticidad de los productos cárnicos, ya que la matriz proteica puede captar las gotitas de lípidos y agua que pueden ocupar los huecos de aire dentro de la matriz de la emulsión y reducir la elasticidad cuando aumenta el contenido de grasa (Mohammad Rashedi *et al.*, 2021; Youssef y Barbut, 2011).

#### 4.2.4 Corte

Los resultados en la Tabla 20 indican que la adición de fibra tiene un impacto significativo en la resistencia mecánica de las salchichas durante el corte. En las formulaciones sin fibra, la firmeza y la tenacidad disminuyeron considerablemente a medida que se incrementaba el porcentaje de proteína de arroz. La firmeza se redujo de  $7,02 \pm 2,26$  N en la muestra F1 a  $4,29 \pm 2,00$  N en la muestra F3. Esta disminución en la firmeza y tenacidad puede atribuirse a la menor cohesión estructural proporcionada por la proteína de arroz, lo cual es consistente con lo reportado por Lin y Barbut (2024).

Sin embargo, al incluir un 3% de fibra en las formulaciones, se observó un aumento en ambos parámetros. La muestra F4 mostró una firmeza de  $9,20 \pm 1,66$  N y una tenacidad de  $92,73 \pm 21,9$  N·seg, valores similares a los de la muestra de control. Esto sugiere que la fibra no solo actúa como un agente estructurante, sino que también podría estar mejorando la matriz proteica, proporcionando mayor resistencia al corte en las salchichas cocidas.

Este efecto se intensifica con un mayor contenido de fibra. Las muestras con un 6% de fibra (F5 y F7) mostraron incrementos significativos en la firmeza ( $13,33 \pm 0,69$  N y  $11,58 \pm 0,91$  N, respectivamente) y en la tenacidad ( $153,79 \pm 10,7$  N·seg y  $131,37 \pm 13,2$  N·seg, respectivamente). Estas muestras presentaron la mayor dureza entre las salchichas híbridas.

Según Talukder (2015), la adición de fibra dietética afecta sustancialmente el valor de la fuerza de corte de los productos cárnicos. Chang y Carpenter (1997) incorporaron salvado de trigo y avena en salchichas de Frankfurt reducidas en grasa. Los resultados mostraron que las salchichas con niveles más altos de salvado de avena requerían una fuerza de corte alta para romperlas. De manera similar, Mansour y Khalil (1997) encontraron que la fuerza de corte en hamburguesas de carne que contenían fibra de trigo era significativamente mayor en comparación con las hamburguesas de control.

El tipo de grasa también influye en las propiedades de corte de las salchichas, aunque su impacto es menos pronunciado que el de la fibra. Las formulaciones con grasa Vegelip tendieron a mostrar una menor firmeza y tenacidad en comparación con aquellas formuladas con grasa de coco. Por ejemplo, la muestra F11 tuvo una firmeza de  $10,46 \pm 0,98$  N, comparado con los  $13,33 \pm 0,69$  N de la muestra F5, que contenía grasa de coco. Esto puede estar relacionado con las diferencias en la composición y el comportamiento de las grasas durante el proceso de cocción.

**TABLA 19.** ANÁLISIS DE PERFIL DE TEXTURA (TPA) DE LAS SALCHICHAS HÍBRIDAS

| Muestra | Proteína cárnica<br>(%) | Proteína de arroz<br>(%) | Fibra<br>(%) |
|---------|-------------------------|--------------------------|--------------|
| C       | 100                     | 0                        | 0            |
| F1      | 60                      | 40                       | 0            |
| F2      | 50                      | 50                       | 0            |
| F3      | 40                      | 60                       | 0            |
| F4      | 60                      | 40                       | 3            |
| F5      | 60                      | 40                       | 6            |
| F6      | 50                      | 50                       | 3            |
| F7      | 50                      | 50                       | 6            |
| F8      | 40                      | 60                       | 3            |
| F9      | 40                      | 60                       | 6            |
| F10     | 60                      | 40                       | 3            |
| F11     | 60                      | 40                       | 6            |
| F12     | 40                      | 60                       | 3            |
| F13     | 40                      | 60                       | 6            |

Los valores muestran la media  $\pm$  desviación estándar, (n = 6).  
Las medias con diferentes letras en superíndice en la misma columna son significativamente diferentes.

**TABLA 20.** ANÁLISIS DE CORTE DE LAS SALCHICHAS HÍBRIDAS COCIDAS DE DIF

| Muestra | Proteína cárnica<br>(%) | Proteína de arroz<br>(%) | Fibra<br>(%) |
|---------|-------------------------|--------------------------|--------------|
| C       | 100                     | 0                        | 0            |
| F1      | 60                      | 40                       | 0            |
| F2      | 50                      | 50                       | 0            |
| F3      | 40                      | 60                       | 0            |
| F4      | 60                      | 40                       | 3            |
| F5      | 60                      | 40                       | 6            |
| F6      | 50                      | 50                       | 3            |
| F7      | 50                      | 50                       | 6            |
| F8      | 40                      | 60                       | 3            |
| F9      | 40                      | 60                       | 6            |
| F10     | 60                      | 40                       | 3            |
| F11     | 60                      | 40                       | 6            |
| F12     | 40                      | 60                       | 3            |
| F13     | 40                      | 60                       | 6            |

Los valores muestran la media  $\pm$  desviación estándar, (n = 6).

Las medias con diferentes letras en superíndice en la misma columna son significativamente diferentes.

### 4.2.5 Color

Los valores obtenidos para los parámetros de color ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) en las diferentes formulaciones de salchichas se presentan en la Tabla 21.

La luminosidad ( $L^*$ ), que indica el grado de claridad u oscuridad del producto, disminuyó notablemente al aumentar la proporción de proteína de arroz y fibra. La muestra de control, compuesta únicamente de proteína cárnica, fue significativamente más clara ( $p < 0,05$ ) en comparación con las demás. A medida que se incrementó la inclusión de proteína de arroz y fibra, el valor de  $L^*$  se redujo, destacándose la muestra F7 como una de las que presentó los valores más bajos ( $57,75 \pm 0,75$ ).

El valor  $a^*$ , que representa la intensidad del color rojo, también varió entre las diferentes muestras. Las salchichas con mayores niveles de fibra y proteína de arroz mostraron un incremento en el valor  $a^*$ . En particular, las muestras F5, F7, y F13 presentaron valores significativamente más altos ( $p < 0,05$ ) en comparación con la muestra de control.

El valor  $b^*$ , que mide la intensidad del color amarillo, aumentó significativamente en las formulaciones con fibra, especialmente en aquellas que contenían un 6% de salvado de arroz. La muestra F7 exhibió el valor más alto ( $p < 0,05$ ), indicando un tono más amarillento en comparación con la muestra de control.

La disminución en la luminosidad ( $L^*$ ) y el aumento en el valor  $b^*$  podrían explicarse por el tono amarillento del aislado de proteína de arroz y el color marrón del salvado de arroz.

Lin y Barbut (2024) encontraron que la incorporación de proteínas vegetales en la masa cárnica híbrida cocida redujo significativamente la luminosidad ( $L^*$ ) y elevó los valores de amarillez ( $b^*$ ). A medida que se incrementaba el nivel de proteína vegetal, se observaron tendencias descendentes en  $L^*$  y ascendentes en  $b^*$ . Además, las proteínas vegetales mostraron efectos variables en el enrojecimiento ( $a^*$ ) de las formulaciones. En particular, la adición de proteína de arroz aumentó significativamente el valor  $a^*$  en comparación con el control.

En cuanto al efecto de la grasa, es importante mencionar que tanto Vegelip como el coco son grasas refinadas, desodorizadas y decoloradas, lo que puede influir menos en el color final de las salchichas. En cambio, el aceite de arroz presente en el salvado no desgrasado conserva su color propio, lo que podría haber afectado los parámetros de color.

Choi *et al.* (2011) reportaron que los embutidos emulsionados del grupo control presentaron los valores de luminosidad ( $L^*$ ) más altos. Sin embargo, la adición de niveles crecientes de fibra de arroz integral provocó una disminución significativa en estos valores. Por otro lado, se observó

un aumento notable en los valores de enrojecimiento ( $a^*$ ) y amarillez ( $b^*$ ) a medida que se incrementaba la concentración de fibra de arroz integral en las salchichas.



**TABLA 21.** PARÁMETROS DE COLOR EN LAS SALCHICHAS COCIDAS DE DIFERENTES

| Muestra | Proteína cárnica<br>(%) | Proteína de arroz<br>(%) | Fibra<br>(%) |
|---------|-------------------------|--------------------------|--------------|
| C       | 100                     | 0                        | 0            |
| F1      | 60                      | 40                       | 0            |
| F2      | 50                      | 50                       | 0            |
| F3      | 40                      | 60                       | 0            |
| F4      | 60                      | 40                       | 3            |
| F5      | 60                      | 40                       | 6            |
| F6      | 50                      | 50                       | 3            |
| F7      | 50                      | 50                       | 6            |
| F8      | 40                      | 60                       | 3            |
| F9      | 40                      | 60                       | 6            |
| F10     | 60                      | 40                       | 3            |
| F11     | 60                      | 40                       | 6            |
| F12     | 40                      | 60                       | 3            |
| F13     | 40                      | 60                       | 6            |

Los valores muestran la media  $\pm$  desviación estándar, (n = 6).  
Las medias con diferentes letras en superíndice en la misma columna son significativamente diferentes.

# **CAPÍTULO 5 - CONCLUSIONES**



1. La extracción de proteínas del salvado de arroz desgrasado mediante tratamiento alcalino mostró un rendimiento limitado, con una eficiencia de extracción del  $22,20 \pm 0,61\%$ . Esto indica que, aunque el método alcalino es útil, su eficacia es relativamente baja en comparación con otros métodos de extracción.
2. La capacidad de formación de espuma de las proteínas aumenta con el pH, alcanzando su valor más alto a pH 11. La estabilidad de la espuma también mejora en condiciones alcalinas. La desnaturalización de las proteínas a pH elevados favorece esta funcionalidad.
3. Las emulsiones cárnicas de salchichas híbridas mostraron una estructura predominantemente elástica en todas las formulaciones, con un módulo de almacenamiento ( $G'$ ) superior al módulo de pérdida ( $G''$ ). Se observó que el reposo de 24 horas a 4 °C resultó en un aumento significativo de los parámetros reológicos ( $G'$ ,  $G''$ , y  $|\eta^*|$ ), lo que sugiere una mayor estabilidad estructural y la formación de una matriz tridimensional más cohesiva en la mayoría de las emulsiones cárnicas.
4. Las formulaciones de emulsiones cárnicas que contenían fibra dietética, especialmente en concentraciones del 6%, mostraron los valores reológicos más altos, lo que indica que la fibra aumenta la consistencia de la emulsión al incrementar la capacidad de absorción de agua y grasa. Sin embargo, a concentraciones más altas, la fibra puede densificar la emulsión, aumentando su resistencia a la deformación.
5. Las emulsiones cárnicas que contenían únicamente aislado de proteína de arroz no presentaron diferencias significativas en los parámetros reológicos tras el reposo y tuvieron valores más bajos que las muestras de control. Esto se puede atribuir a la limitada capacidad de la proteína de arroz para formar redes tridimensionales cohesivas en comparación con las proteínas cárnicas. La sustitución parcial de proteína cárnica por proteína de arroz resultó en una disminución de la dureza, cohesividad, elasticidad, firmeza y tenacidad de las salchichas híbridas, lo que refuerza la idea de que la proteína de arroz contribuye menos a la integridad estructural de la matriz cárnica.
6. La inclusión de fibra, particularmente salvado de arroz, tuvo un impacto significativo en las propiedades texturales y reológicas de las salchichas. La fibra aumentó la dureza, cohesividad y firmeza de las muestras, destacando su capacidad para formar una red tridimensional más densa en la matriz. Además, la fibra mejoró significativamente el rendimiento de cocción, contribuyendo a una mejor retención de agua y grasa durante el

procesamiento térmico. Las muestras con 6% de fibra lograron los rendimientos de cocción más altos, lo que confirma que la fibra no solo mejora la retención de humedad, sino que también fortalece la estructura del gel proteico en la concentración de fibra más alta entre las estudiadas.

7. El tipo de grasa utilizado en las formulaciones impactó significativamente los parámetros reológicos, texturales y el rendimiento de cocción. La grasa de coco aportó mayor consistencia y estabilidad estructural a las salchichas, lo que resultó en un mejor rendimiento de cocción. En cambio, el uso de Vegelip redujo la dureza, elasticidad y tenacidad, sugiriendo una menor cohesión en la matriz cárnica. Cabe aclarar que el diseño experimental no pretendía comparar directamente el coco con el Vegelip, sino equilibrar el grado de insaturación combinando el aceite de arroz presente en el salvado entero con la grasa de coco, y en el salvado desgrasado con Vegelip. En realidad, la diferencia clave radica en que las formulaciones con grasa de coco también contenían aceite de arroz sin refinar, lo que influyó en las propiedades texturales y reológicas observadas.
8. La adición de fibra y el tipo de grasa en las salchichas cocidas influyeron significativamente en sus parámetros de color. Las muestras que contenían grasa de coco y fibra presentaron una menor luminosidad y un tono más amarillento, lo que sugiere que estos ingredientes afectan la apariencia visual del producto. Además, el tipo de proteína utilizada también tuvo un impacto en el color. Por lo tanto, dependiendo de la formulación seleccionada, podría ser necesario considerar el uso de aditivos colorantes

## **CAPÍTULO 6 - BIBLIOGRAFIA**



- Abdolghafour, B., & Saghir, A. (2014). Development in sausage production and practices-A review Sausage Production : Ingredients and Raw. *Journal of meat science and technology*, 2(3), 40-50. [www.jakraya.com/journal/jmst](http://www.jakraya.com/journal/jmst)
- Abdul-Hamid, A., & Luan, Y. S. (2000). Functional properties of dietary fibre prepared from defatted rice bran. *Food Chemistry*, 68, 15-19.
- Ağar, B., Gençcelep, H., Sarıcaoğlu, F. T., & Turhan, S. (2016). Effect of sugar beet fiber concentrations on rheological properties of meat emulsions and their correlation with texture profile analysis. *Food and Bioproducts Processing*, 100, 118-131. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.06.015>
- Akoh, C. C., Chang, S. W., Lee, G. C., & Shaw, J. F. (2008). Biocatalysis for the production of industrial products and functional foods from rice and other agricultural produce. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(22), 10445-10451. <https://doi.org/10.1021/jf801928e>
- Alauddin, M., Rahman, S., Islam, J., Shirakawa, H., Komai, M., & Howlader, M. Z. H. (2019). Development of rice bran functional food and evaluation of its healthful properties. *Rice Bran and Rice Bran Oil: Chemistry, Processing and Utilization*, 183-206. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812828-2.00008-1>
- Aletor, O., Oshodi, A. A., & Ipinmoroti, K. (2002). Chemical composition of common leafy vegetables and functional properties of their leaf protein concentrates. *Food Chemistry*, 78(1), 63-68. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(01\)00376-4](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(01)00376-4)
- Amagliani, L., O'Regan, J., Kelly, A. L., & O'Mahony, J. A. (2017). The composition, extraction, functionality and applications of rice proteins: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 64, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.01.008>
- Amarasinghe, B. M. W. P. K., Kumarasiri, M. P. M., & Gangodavilage, N. C. (2008). Effect of method of stabilization on aqueous extraction of rice bran oil. *Food and Bioproducts Processing*, 7(August), 108-114. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2008.08.002>
- Ampofo, J., & Ngadi, M. (2022). Ultrasound-assisted processing: Science, technology and challenges for the plant-based protein industry. *Ultrasonics Sonochemistry*, 84(February). <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.105955>
- Anderson, J. W., Baird, P., Davis, R. H., Ferreri, S., Knudtson, M., Koraym, A., Waters, V., & Williams, C. L. (2009). Health benefits of dietary fiber. *Nutrition Reviews*, 67(4), 188-205. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2009.00189.x>
- Arendt, E. ., & Zannini, E. (2013). Cereal grains for the food and beverage industries. En *Elsevier*.

- Aviles, M. V., Naef, E. F., Abalos, R. A., Lound, L. H., Gómez, M. B., & Olivera, D. F. (2023). Use of a rice industry by-product as a meat replacer in a hybrid chicken patty: Technological and sensory impact. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 31(January). <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2023.100674>
- Babji, A. S., Fatimah, S., Ghassem, M., & Abolhassani, Y. (2010). Protein quality of selected edible animal and plant protein sources using rat bio-assay. *International Food Research Journal*, 17(2), 303-308.
- Balachandran, C., Mayamol, P. N., Thomas, S., Sukumar, D., Sundaresan, A., & Arumughan, C. (2008). An ecofriendly approach to process rice bran for high quality rice bran oil using supercritical carbon dioxide for nutraceutical applications. *Bioresource Technology*, 99(8), 2905-2912. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.06.004>
- Bangoura, M. L., Nsor-Atindana, J., Zhu, K., Tolno, M. B., Zhou, H., & Wei, P. (2013). Potential hypoglycaemic effects of insoluble fibres isolated from foxtail millets [*Setaria italica* (L.) P. Beauvois]. *International Journal of Food Science and Technology*, 48(3), 496-502. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2012.03210.x>
- Barbin, D. F., Badaró, A. T., Honorato, D. C. B., Ida, E. Y., & Shimokomaki, M. (2020). Identification of Turkey meat and processed products using near infrared spectroscopy. *Food Control*, 107(May 2019), 106816. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2019.106816>
- Bashir, S., Ahmad, A., Abbasi, K. S., & Akram, Z. (2022). Optimization of ultrasonic-assisted extraction of insoluble dietary fiber from wheat bran and its characterization. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(4), 1-12. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16419>
- Beloshapka, A. N., Buff, P. R., Fahey, G. C., & Swanson, K. S. (2016). Compositional analysis of whole grains, processed grains, grain co-products, and other carbohydrate sources with applicability to pet animal nutrition. *Foods*, 5(2), 1-16. <https://doi.org/10.3390/foods5020023>
- Bhosale, S., & Vijayalakshmi, D. (2015). Processing and nutritional composition of rice bran. *Current Research in Nutrition and Food Science*, 3(1), 74-80. <https://doi.org/10.12944/CRNFSJ.3.1.08>
- Bitencourt, R. G., Filho, W. A. R., Paula, J. T., Garmus, T. T., & Cabral, F. A. (2016). Solubility of  $\gamma$ -oryzanol in supercritical carbon dioxide and extraction from rice bran. *Journal of Supercritical Fluids*, 107, 196-200. <https://doi.org/10.1016/j.supflu.2015.09.009>
- Bohrer, B. M. (2019). An investigation of the formulation and nutritional composition of modern meat analogue products. *Food Science and Human Wellness*, 8(4), 320-329.



<https://doi.org/10.1016/j.fshw.2019.11.006>

- Bradford, M. M. (1976). A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding. *Analytical Biochemistry*, 72(1-2), 248-254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3)
- Cao, X. (2015). *Extracting Rice Bran Polysaccharides by Fermentation and Bioactivity*. South China University of Technology.
- Cao, X., Wen, H., Li, C., & Gu, Z. (2009). Differences in functional properties and biochemical characteristics of congenetic rice proteins. *Journal of Cereal Science*, 50, 184-189.
- Castro, I., Macedo, B., Teixeira, J. A., & Vicente, A. A. (2004). The effect of electric field on important food-processing enzymes: Comparison of inactivation kinetics under conventional and ohmic heating. *Journal of Food Science*, 69(9). <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2004.tb09918.x>
- Cavalcanti, É. N. F., Giampietro-Ganeco, A., Mello, J. L. M., Fidelis, H. A., Oliveira, R. F., Pereira, M. R., Villegas-Cayllahua, E. A., Souza, R. A., Souza, P. A., & Borba, H. (2021). Breast meat quality of turkey breeder hens at disposal age affected by deep pectoral myopathy. *Poultry Science*, 100(8), 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101259>
- Cerisuelo, A. (2021). Salvado de Arroz. *NutriNews*, 22-33.
- Chaisuwan, B., & Supawong, S. (2022). Physicochemical and antioxidative characteristics of rice bran protein extracted using subcritical water as a pretreatment and stability in a functional drink model during storage. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 44(August). <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2022.102466>
- Chandi, G. K., & Sogi, D. S. (2007). Functional properties of rice bran protein concentrates. *Journal of Food Engineering*, 79(2), 592-597. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.02.018>
- Chandler, S. L., & McSweeney, M. B. (2022). Characterizing the properties of hybrid meat burgers made with pulses and chicken. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 27(May 2021). <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2022.100492>
- Chang, H. C., & Carpenter, J. A. (1997). Optimizing quality of frankfurters containing oat bran and added water. *Journal of Food Science*, 62(1), 194-197. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1997.tb04398.x>
- Chanput, W., Theerakulkait, C., & Nakai, S. (2009). Antioxidative properties of partially purified barley hordein, rice bran protein fractions and their hydrolysates. *Journal of Cereal Science*,

49(3), 422-428. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2009.02.001>

- Chemat, F., Rombaut, N., Sicaire, A. G., Meullemiestre, A., Fabiano-Tixier, A. S., & Abert-Vian, M. (2017). Ultrasound assisted extraction of food and natural products. Mechanisms, techniques, combinations, protocols and applications. A review. *Ultrasonics Sonochemistry*, 34, 540-560. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2016.06.035>
- Chen, H. H. (2006). Thermal gelation behaviors of surimi protein mixed with Hydroxypropylmethylcellulose. *Fisheries Science*, 72(3), 679-685. <https://doi.org/10.1111/j.1444-2906.2006.01199.x>
- Chinma, C. E., Ramakrishnan, Y., Ilowefah, M., Hanis-Syazwani, M., & Muhammad, K. (2015). Properties of cereal brans: A review. *Cereal Chemistry*, 92(1), 1-7. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-10-13-0221-RW>
- Chittapalo, T., & Noomhorm, A. (2009). Ultrasonic assisted alkali extraction of protein from defatted rice bran and properties of the protein concentrates. *International Journal of Food Science and Technology*, 44(9), 1843-1849. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2009.02009.x>
- Cho, S. J. (2020). Changes in the antioxidant properties of rice bran protein isolate upon simulated gastrointestinal digestion. *Lwt*, 126(February). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109206>
- Choct, M., & Annison, G. (1992). The inhibition of nutrient digestion by wheat pentosans. *British Journal of Nutrition*, 67(1), 123-132. <https://doi.org/10.1079/bjn19920014>
- Choi, I., Chun, A., Suh, S. J., Ryu, G. H., Chun, J., & Kim, J. H. (2008). Effects of extrusion conditions on physicochemical properties of a mutant rice cultivar, Goami2 - High in nondigestible carbohydrates. *Journal of Food Quality*, 31(5), 571-585. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4557.2008.00221.x>
- Choi, Y. S., Choi, J. H., Han, D. J., Kim, H. Y., Lee, M. A., Kim, H. W., Jeong, J. Y., & Kim, C. J. (2009). Characteristics of low-fat meat emulsion systems with pork fat replaced by vegetable oils and rice bran fiber. *Meat Science*, 82(2), 266-271. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.01.019>
- Choi, Y. S., Kim, H. W., Hwang, K. E., Song, D. H., Choi, J. H., Lee, M. A., Chung, H. J., & Kim, C. J. (2014). Physicochemical properties and sensory characteristics of reduced-fat frankfurters with pork back fat replaced by dietary fiber extracted from makgeolli lees. *Meat Science*, 96(2), 892-900. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.08.033>
- Choi, Y. S., Kim, H. W., Hwang, K. E., Song, D. H., Jeong, T. J., Kim, Y. B., Jeon, K. H., & Kim, C. J. (2015). Effects of fat levels and rice bran fiber on the chemical, textural, and

- sensory properties of frankfurters. *Food Science and Biotechnology*, 24(2), 489-495.  
<https://doi.org/10.1007/s10068-015-0064-5>
- Choi, Y. S., Kim, H. W., Song, D. H., Choi, J. H., Park, J., Kim, M. Y., Lim, C. S., & Kim, C. J. (2011). Quality characteristics and sensory properties of reduced-fat emulsion sausages with brown rice fiber. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 31(4), 521-529.  
<https://doi.org/10.5851/kosfa.2011.31.4.521>
- Choudhary, M., & Grover, K. (2013). Blended Rice Bran and Olive Oil – Moving towards a New Cooking Media. *International Journal for Life Sciences and Educational Research*, 1(1), 14-20.
- Coda, R., Katina, K., & Rizzello, C. G. (2015). Bran bioprocessing for enhanced functional properties. *Current Opinion in Food Science*, 1(1), 50-55.  
<https://doi.org/10.1016/j.cofs.2014.11.007>
- Cozzano, S., Fernandez, A. ., De Castillo Bilbao, M. ., & Medrano Fernandez, A. (2018). New functional ingredients from agroindustrial by-products for the development of healthy foods. *Encyclopedia of Food Security and Sustainability*, 1, 351-359.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22140-9>
- Dahiya, S., Kumar, A. N., Shanthi Sravan, J., Chatterjee, S., Sarkar, O., & Mohan, S. V. (2018). Food waste biorefinery: Sustainable strategy for circular bioeconomy. *Bioresource Technology*, 248(August 2017), 2-12. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.07.176>
- Daou, C., & Zhang, H. (2012). Study on Functional Properties of Physically Modified Dietary Fibres Derived from Defatted Rice Bran. *Journal of Agricultural Science*, 4(9), 85-97.  
<https://doi.org/10.5539/jas.v4n9p85>
- Daou, C., & Zhang, H. (2014). Functional and physiological properties of total, soluble, and insoluble dietary fibres derived from defatted rice bran. *Journal of Food Science and Technology*, 51(12), 3878-3885. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-0925-y>
- Debusca, A., Tahergorabi, R., Beamer, S. K., Partington, S., & Jaczynski, J. (2013). Interactions of dietary fibre and omega-3-rich oil with protein in surimi gels developed with salt substitute. *Food Chemistry*, 141(1), 201-208.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.02.111>
- Delcour, J. ., & Hoskeney, R. . (2010). Chapter 12: Yeast-leavened products, in: Principles of Cereal Science and Technology. *AACC International*, 177-206.
- Destandau, E., Michel, T., & Elfakir, C. (2013). Microwave-assisted extraction. En *RSC Green Chemistry* (Número August). <https://doi.org/10.1039/9781849737579-00113>

- Devi, G. N., Padmavathi, G., Babu, V. R., & Waghray, K. (2015). Proximate nutritional evaluation of rice (*Oryza sativa* L.). *Journal Rice Research*, 8(1), 23-32.
- Devries, M. C., & Phillips, S. M. (2015). Supplemental protein in support of muscle mass and health: Advantage whey. *Journal of Food Science*, 80(S1), A8-A15. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12802>
- Dhingra, D., Chopra, S., & Rai, D. R. (2012). Stabilization of Raw Rice Bran using Ohmic Heating. *Agricultural Research*, 1(4), 392-398. <https://doi.org/10.1007/s40003-012-0037-3>
- Dijksterhuis, G. (2016). Trends in Food Science & Technology New product failure: Five potential sources discussed. *Trends in Food Science & Technology*, 50, 243-248. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2016.01.016>
- Dogan, M., Kayacier, A., Toker, Ö. S., Yilmaz, M. T., & Karaman, S. (2013). Steady, Dynamic, Creep, and Recovery Analysis of Ice Cream Mixes Added with Different Concentrations of Xanthan Gum. *Food and Bioprocess Technology*, 6(6), 1420-1433. <https://doi.org/10.1007/s11947-012-0872-z>
- Dubey, B. N., Fitton, D., Nahar, S., & Howarth, M. (2019). Comparative Study on the Rice Bran Stabilization Processes: A Review. *Research & Development in Material Science*, 11(2). <https://doi.org/10.31031/rdms.2019.11.000759>
- Dunford, N. (2019). Chemistry of rice bran oil. *Rice Bran and Rice Bran Oil: Chemistry, Processing and Utilization*, 1-18. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812828-2.00001-9>
- Dutta, R., Sarkar, U., & Mukherjee, A. (2015). Soxhlet Extraction of Crotalaria Juncea Oil Using Cylindrical and Annular Packed Beds. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, 6(2), 130-133. <https://doi.org/10.7763/ijcea.2015.v6.466>
- Fabian, C., & Ju, Y. H. (2011). A review on rice bran protein: Its properties and extraction methods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51(9), 816-827. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.482678>
- Fan, H. Y., Sharifudin, M. S., Hasmadi, M., & Chew, H. M. (2013). Frying stability of rice bran oil and palm olein. *International Food Research Journal*, 20(1), 403-407.
- FAO. (2024). *Situación Alimentaria Mundial*. <https://www.fao.org/worldfoodsituation/csdb/es/>
- Fathi, P., Moosavi-Nasab, M., Mirzapour-Kouhdasht, A., & Khalesi, M. (2021). Generation of hydrolysates from rice bran proteins using a combined ultrasonication-Alcalase hydrolysis treatment. *Food Bioscience*, 42(April). <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101110>
- Ferjančič, B., Kugler, S., Korošec, M., Polak, T., & Bertoneclj, J. (2021). Development of low-

- fat chicken bologna sausages enriched with inulin, oat fibre or psyllium. *International Journal of Food Science and Technology*, 56(4), 1818-1828. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14808>
- Fouad, A. A., & Rehab, F. M. A. (2015). Effect of germination time on proximate analysis, bioactive compounds and antioxidant activity of lentil (*Lens culinaris medik.*) sprouts. *Acta Scientiarum Polonorum, Technologia Alimentaria*, 14(3), 233-246. <https://doi.org/10.17306/J.AFS.2015.3.25>
- Fox, P. F., Guinee, T. P., Cogan, T. M., & McSweeney, P. L. H. (2000). *Fundamentals of cheese science*. Aspen Publishers, Inc.
- Fraterrigo Garofalo, S., Tommasi, T., & Fino, D. (2021). A short review of green extraction technologies for rice bran oil. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 11(2), 569-587. <https://doi.org/10.1007/s13399-020-00846-3>
- Garba, U., Singanusong, R., Jiamyangyeun, S., & Thongsook, T. (2019). Extraction and utilisation of rice bran oil. A review. *Rivista Italiana delle Sostanze Grasse*, 96(3), 161-170.
- Gilbert, J. A., Bendsen, N. T., Tremblay, A., & Astrup, A. (2011). Effect of proteins from different sources on body composition. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 21(SUPPL. 2). <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2010.12.008>
- Giroto, F., Alibardi, L., & Cossu, R. (2015). Food waste generation and industrial uses: A review. *Waste Management*, 45, 32-41. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2015.06.008>
- Godber, S. ., Xu, Z., Hegsted, M., & Walker, T. (2002). Rice bran and Rice bran oil. *Functional foods development. Fall of Agriculture*.
- Grasso, S. (2020). Hybrid meat. *Food Science and Technology*, 34(3), 48-51. [https://doi.org/10.1002/fsat.3403\\_12.x](https://doi.org/10.1002/fsat.3403_12.x)
- Grasso, S., Asioli, D., & Smith, R. (2022). Consumer co-creation of hybrid meat products: A cross-country European survey. *Food Quality and Preference*, 100(March). <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2022.104586>
- Grasso, S., Brunton, N. P., Lyng, J. G., Lalor, F., & Monahan, F. J. (2014). Healthy processed meat products - Regulatory, reformulation and consumer challenges. *Trends in Food Science and Technology*, 39(1), 4-17. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.06.006>
- Grasso, S., & Jaworska, S. (2020). Part meat and part plant: Are hybrid meat products fad or future? *Foods*, 9(12), 1-13. <https://doi.org/10.3390/foods9121888>
- Grasso, S., Smith, G., Bowers, S., Ajayi, O. M., & Swainson, M. (2019). Effect of texturised soy

- protein and yeast on the instrumental and sensory quality of hybrid beef meatballs. *Journal of Food Science and Technology*, 56(6), 3126-3135. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3552-9>
- Guan, X., Yao, H., Chen, Z., Shan, L., & Zhang, M. (2007). Some functional properties of oat bran protein concentrate modified by trypsin. *Food Chemistry*, 101(1), 163-170. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.01.011>
- Guillon, F., & Champ, M. (2000). Structural and physical properties of dietary fibres, and consequences of processing on human physiology. *Food Research International*, 33(3-4), 233-245. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(00\)00038-7](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(00)00038-7)
- Gul, K., Yousuf, B., Singh, A. K., Singh, P., & Abas, A. (2015). Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre Rice bran : Nutritional values and its emerging potential for development of functional food — A review. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 6(1), 24-30. <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2015.06.002>
- Gumus, C. E., Decker, E. A., & McClements, D. J. (2017). Formation and Stability of  $\omega$ -3 Oil Emulsion-Based Delivery Systems Using Plant Proteins as Emulsifiers: Lentil, Pea, and Faba Bean Proteins. *Food Biophysics*, 12(2), 186-197. <https://doi.org/10.1007/s11483-017-9475-6>
- Gupta, S., & Nanak, G. (2008). Effect of Extraction Temperature on Functional Properties of Rice Bran Protein Concentrates Effect of Extraction Temperature on Functional Properties of Rice Bran Protein Concentrates. *International Journal of Food Engineering*, 4(2). <https://doi.org/10.2202/1556-3758.1165>
- Hadidi, M., Aghababaei, F., & McClements, D. J. (2023). Enhanced alkaline extraction techniques for isolating and modifying plant-based proteins. *Food Hydrocolloids*, 145(July). <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109132>
- Hadidi, M., Khaksar, F. B., Pagan, J., & Ibarz, A. (2020). Application of Ultrasound-Ultrafiltration-Assisted alkaline isoelectric precipitation (UUAIP) technique for producing alfalfa protein isolate for human consumption: Optimization, comparison, physicochemical, and functional properties. *Food Research International*, 130(December 2019), 108907. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108907>
- Hamada, J. S. (1997). Characterization of protein fractions of rice bran to devise effective methods of protein solubilization. *Cereal Chemistry*, 74(5), 662-668. <https://doi.org/10.1094/CCHEM.1997.74.5.662>
- Han, S. W., Chee, K. M., & Cho, S. J. (2015). Nutritional quality of rice bran protein in



- comparison to animal and vegetable protein. *Food Chemistry*, 172, 766-769. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.09.127>
- Hanmoungjai, P., Pyle, D. L., & Niranjana, K. (2001). Enzymatic process for extracting oil and protein from rice bran. *JAOCs, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 78(8), 817-821. <https://doi.org/10.1007/s11746-001-0348-2>
- Hartmann, C., & Siegrist, M. (2017). Consumer perception and behaviour regarding sustainable protein consumption: A systematic review. *Trends in Food Science and Technology*, 61, 11-25. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.12.006>
- He, C., Hu, Y., Wang, Y., Liao, Y., Xiong, H., Selomulya, C., Hu, J., & Zhao, Q. (2020). Complete waste recycling strategies for improving the accessibility of rice protein films. *Green Chemistry*, 22(2), 490-503. <https://doi.org/10.1039/c9gc03354h>
- He, S., Franco, C., & Zhang, W. (2013). Functions, applications and production of protein hydrolysates from fish processing co-products (FPCP). *Food Research International*, 50(1), 289-297. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.10.031>
- Head, D., Cenkowski, S., Arntfield, S., & Henderson, K. (2011). Storage stability of oat groats processed commercially and with superheated steam. *Lwt*, 44(1), 261-268. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.05.022>
- Heredia-Olea, E., Contreras-Alvarado, M. D., Perez-Carrillo, E., Rosa-Millán, J. D. la, & Serna-Saldivar, S. O. (2020). Assessment of the techno-functionality, starch digestion rates and protein quality of rice flour–whey protein instant powders produced in a twin extruder. *International Journal of Food Science and Technology*, 55(2), 878-890. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14376>
- Hu, Y., Li, M., Piao, J., & Yang, X. (2010). Nutritional evaluation of genetically modified rice expressing human lactoferrin gene. *Journal of Cereal Science*, 52(3), 350-355. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2010.05.008>
- Huang, S. C., Shiau, C. Y., Liu, T. E., Chu, C. L., & Hwang, D. F. (2005). Effects of rice bran on sensory and physico-chemical properties of emulsified pork meatballs. *Meat Science*, 70(4), 613-619. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.02.009>
- Ijaz, U., Nadeem, H. U., Shafique, A., Rasheed, A., Batool, R., & Azeem, F. (2020). Rice bran composition and its emerging potential applications. En *Green Sustainable Process for Chemical and Environmental Engineering and Science: Plant-Derived Green Solvents: Properties and Applications*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821886-0.00001-4>



- Iqbal, S., Bhanger, M. I., & Anwar, F. (2005). Antioxidant properties and components of some commercially available varieties of rice bran in Pakistan. *Food Chemistry*, 93(2), 265-272. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.09.024>
- Ismail, I., Hwang, Y. H., & Joo, S. T. (2020). Meat analog as future food: A review. *Journal of Animal Science and Technology*, 62(2), 111-120. <https://doi.org/10.5187/jast.2020.62.2.111>
- Jadhav, H. B., Das, M., Das, A., V, G., Choudhary, P., Annapure, U., & Alaskar, K. (2024). Enhancing the functionality of plant-based proteins with the application of ultrasound—A review. *Measurement: Food*, 13(January). <https://doi.org/10.1016/j.meafao.2024.100139>
- Kaewjumpol, G., Oruna-Concha, M. J., Niranjana, K., & Thawornchinsombut, S. (2018). The production of hydrolysates from industrially defatted rice bran and its surface image changes during extraction. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(9), 3290-3298. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8832>
- Kalpanadevi, C., Muthukumar, S. P., Govindaraju, K., & Subramanian, R. (2021). Rice bran protein: An alternative plant-based protein to ameliorate protein malnourishment. *Journal of Cereal Science*, 97(December 2020). <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.103154>
- Kampert, K., Albrecht, R., Awes, T., Beckmann, P., Berger, F., Bloomer, M., Blume, C., Bock, D., Bock, R., Claesson, G., Clewing, G., Dragon, L., Eklund, A., Ferguson, R., Franz, A., Garpman, S., Glasow, R., Gustafsson, H., Gutbrod, H., & Young, G. (1993). Target fragmentation in proton and heavy-ion induced reactions at high energies. *Progress in Particle and Nuclear Physics*, 30, 171-180. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0146-6410\(93\)90019-c](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0146-6410(93)90019-c)
- Karaman, S., Yilmaz, M. T., Dogan, M., Yetim, H., & Kayacier, A. (2011). Dynamic oscillatory shear properties of O/W model system meat emulsions: Linear viscoelastic analysis for effect of temperature and oil concentration on protein network formation. *Journal of Food Engineering*, 107(2), 241-252. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2011.06.016>
- Khadhraoui, B., Ummat, V., Tiwari, B. K., Fabiano-Tixier, A. S., & Chemat, F. (2021). Review of ultrasound combinations with hybrid and innovative techniques for extraction and processing of food and natural products. *Ultrasonics Sonochemistry*, 76. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105625>
- 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), 1-23. <https://doi.org/10.3390/foods8090391>
- Khoei, M., & Chekin, F. (2016). The ultrasound-assisted aqueous extraction of rice bran oil. *Food*

*Chemistry*, 194, 503-507. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.08.068>

- Kim, S. M., Chung, H. J., & Lim, S. T. (2014). Effect of various heat treatments on rancidity and some bioactive compounds of rice bran. *Journal of Cereal Science*, 60(1), 243-248. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2014.04.001>
- Kim, Y., Kee, J. I., Lee, S., & Yoo, S. H. (2014). Quality improvement of rice noodle restructured with rice protein isolate and transglutaminase. *Food Chemistry*, 145, 409-416. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.08.078>
- Klompong, V., Benjakul, S., Kantachote, D., & Shahidi, F. (2007). Antioxidative activity and functional properties of protein hydrolysate of yellow stripe trevally (*Selaroides leptolepis*) as influenced by the degree of hydrolysis and enzyme type. *Food Chemistry*, 102(4), 1317-1327. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.07.016>
- Kovatcheva-Datchary, P., Nilsson, A., Akrami, R., Lee, Y. S., De Vadder, F., Arora, T., Hallen, A., Martens, E., Björck, I., & Bäckhed, F. (2015). Dietary Fiber-Induced Improvement in Glucose Metabolism Is Associated with Increased Abundance of *Prevotella*. *Cell Metabolism*, 22(6), 971-982. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2015.10.001>
- Ktari, N., Smaoui, S., Trabelsi, I., Nasri, M., & Ben Salah, R. (2014). Chemical composition, techno-functional and sensory properties and effects of three dietary fibers on the quality characteristics of Tunisian beef sausage. *Meat Science*, 96(1), 521-525. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.07.038>
- Kumar, M., Tomar, M., Punia, S., Dhakane-Lad, J., Dhumal, S., Changan, S., Senapathy, M., Berwal, M. K., Sampathrajan, V., Sayed, A. A. S., Chandran, D., Pandiselvam, R., Rais, N., Mahato, D. K., Udikeri, S. S., Satankar, V., Anitha, T., Reetu, Radha, ... Kennedy, J. F. (2022). Plant-based proteins and their multifaceted industrial applications. *Lwt*, 154(July 2021). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112620>
- Kumar, P., Chatli, M. K., Mehta, N., Singh, P., Malav, O. P., & Verma, A. K. (2017). Meat analogues: Health promising sustainable meat substitutes. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(5), 923-932. <https://doi.org/10.1080/10408398.2014.939739>
- Kurt, A., & Gençcelep, H. (2018). Enrichment of meat emulsion with mushroom (*Agaricus bisporus*) powder: Impact on rheological and structural characteristics. *Journal of Food Engineering*, 237(May), 128-136. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.05.028>
- Lai, O. M., Jacoby, J. J., Leong, W. F., & Lai, W. T. (2019). Nutritional studies of rice bran oil. In *Rice Bran and Rice Bran Oil: Chemistry, Processing and Utilization*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812828-2.00002-0>

- Lakkakula, N. R., Lima, M., & Walker, T. (2004). *Rice bran stabilization and rice bran oil extraction using ohmic heating q.* 92, 157-161. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2003.08.010>
- Lan, G., Chen, H., Chen, S., & Tian, J. (2012). Chemical composition and physicochemical properties of dietary fiber from *Polygonatum odoratum* as affected by different processing methods. *Food Research International*, 49(1), 406-410. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.07.047>
- Lavanya, M. N., Saikiran, K. C. S., & Venkatachalapathy, N. (2019). Stabilization of rice bran milling fractions using microwave heating and its effect on storage. *Journal of Food Science and Technology*, 56(2), 889-895. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3550-y>
- Lawal, O. S., Adebawale, K. O., & Adebawale, Y. A. (2007). Functional properties of native and chemically modified protein concentrates from bambarra groundnut. *Food Research International*, 40(8), 1003-1011. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.05.011>
- Li, F., Wu, X., & Wu, W. (2021). Effects of protein oxidation induced by rice bran rancidity on the structure and functionality of rice bran glutelin. *Lwt*, 149(April). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111874>
- Li, J., Pradyawong, S., He, Z., Sun, X. S., Wang, D., Cheng, H. N., & Zhong, J. (2019). Assessment and application of phosphorus/calcium-cottonseed protein adhesive for plywood production. *Journal of Cleaner Production*, 229, 454-462. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.038>
- Li, L.-Y., Easa, A. M., Liong, M. T., Tan, T. C., & Foo, W. T. (2013). The use of microbial transglutaminase and soy protein isolate to enhance retention of capsaicin in capsaicin-enriched layered noodles. *Food Hydrocolloids*, 30, 495–503.
- Lin, W., & Barbut, S. (2024). Hybrid meat batter system: effects of plant proteins (pea, brown rice, faba bean) and concentrations (3–12%) on texture, microstructure, rheology, water binding, and color. *Poultry Science*, 103(7), 103822. <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.103822>
- Ling, B., Ouyang, S., & Wang, S. (2019). Effect of radio frequency treatment on functional, structural and thermal behaviors of protein isolates in rice bran. *Food Chemistry*, 289(December 2018), 537-544. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.03.072>
- Liu, S. X., & Mamidipally, P. K. (2005). Quality comparison of rice bran oil extracted with d-limonene and hexane. *Cereal Chemistry*, 82(2), 209-215. <https://doi.org/10.1094/CC-82-0209>

- Liu, Y., Strappe, P., Zhou, Z., & Blanchard, C. (2019). Impact on the nutritional attributes of rice bran following various stabilization procedures. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1455638>
- Liu, Y., Zhang, H., Yi, C., Quan, K., & Lin, B. (2021). Chemical composition, structure, physicochemical and functional properties of rice bran dietary fiber modified by cellulase treatment. *Food Chemistry*, 342(October 2019), 128352. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128352>
- López-Alarcón, C. A., Cerdán-Leal, M. A., Beristain, C. I., Pascual-Pineda, L. A., Azuara, E., & Jiménez-Fernández, M. (2019). The potential use of modified quinoa protein isolates in cupcakes: Physicochemical properties, structure and stability of cupcakes. *Food and Function*, 10(7), 4432-4439. <https://doi.org/10.1039/c9fo00852g>
- López, D. N., Galante, M., Robson, M., Boeris, V., & Spelzini, D. (2018). Amaranth, quinoa and chia protein isolates: Physicochemical and structural properties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 109, 152-159. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.12.080>
- Ma, Z. Q., Zhang, N., Zhai, X. T., & Tan, B. (2023). Structural, physicochemical and functional properties of dietary fiber from brown rice products treated by different processing techniques. *Lwt*, 182(January). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114789>
- Mansour, E. H., & Khalil, A. H. (1997). Characteristics of low-fat beefburger as influenced by various types of wheat fibers. *Food Research International*, 30(3-4), 199-205. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(97\)00043-4](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(97)00043-4)
- Manzoor, A., Pandey, V. K., Dar, A. H., Fayaz, U., Dash, K. K., Shams, R., Ahmad, S., Bashir, I., Fayaz, J., Singh, P., Khan, S. A., & Ganaie, T. A. (2023). Rice bran: Nutritional, phytochemical, and pharmacological profile and its contribution to human health promotion. *Food Chemistry Advances*, 2(April), 100296. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100296>
- Marchetti, L. (2014). *Alternativas tecnológicas para el desarrollo de productos cárnicos emulsionados saludables*. Facultad de Ciencias Exactas - Universidad Nacional de la Plata.
- Mat Yusoff, M., Gordon, M. H., & Niranjana, K. (2015). Aqueous enzyme assisted oil extraction from oilseeds and emulsion de-emulsifying methods: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 41(1), 60-82. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2014.09.003>
- Mateo Anson, N., van den Berg, R., Havenaar, R., Bast, A., & Haenen, G. R. M. M. (2009). Bioavailability of ferulic acid is determined by its bioaccessibility. *Journal of Cereal Science*, 49(2), 296-300. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.12.001>
- Mattila, P., Mäkinen, S., Eurola, M., Jalava, T., Pihlavan, J. M., Hellström, J., & Pihlanto, A.

- (2018). Nutritional Value of Commercial Protein-Rich Plant Products. *Plant Foods for Human Nutrition*, 73(2), 108-115. <https://doi.org/10.1007/s11130-018-0660-7>
- Mendieta, P. (2014). *Optimización de Emulsiones Cárnicas a Partir de Tres Coproductos Cárnicos de Cerdo Usando Metodología de Superficie de Respuesta*.
- Meneses, S. M. O., Molina, D. A. R., & Vargas, J. H. L. (2011). Derivados cárnicos como alimentos funcionales. *Revista Lasallista de Investigacion*, 8(2), 163-172.
- Millward, D. J., Layman, D. K., Tomé, D., & Schaafsma, G. (2008). Protein quality assessment: Impact of expanding understanding of protein and amino acid needs for optimal health. *American Journal of Clinical Nutrition*, 87(5), 1576-1581. <https://doi.org/10.1093/ajcn/87.5.1576s>
- Ming-Min, W., & Ismail-Fitry, M. R. (2023). Physicochemical, rheological and microstructural properties of chicken meat emulsion with the addition of Chinese yam (*Dioscorea polystachya*) and arrowroot (*Maranta arundinacea*) as meat substitutes. *Future Foods*, 7(March), 100221. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2023.100221>
- Mohammad Rashedi, I. F., Ismail, N. A., Bakar, J., & Sazili, A. Q. (2021). Effect of different levels of fat, sodium chloride, and sodium tripolyphosphate on the physicochemical and microstructure properties of Jamnapari goat meat emulsion modelling system. *International Food Research Journal*, 28(5), 916-925. <https://doi.org/10.47836/ifrj.28.5.04>
- Muheim, A., & Lerch, K. (1999). Towards a high-yield bioconversion of ferulic acid to vanillin. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 51(4), 456-461. <https://doi.org/10.1007/s002530051416>
- Murai, S., & Nakagawa, K. (1983). *Apparatus for pretreatment for extracting crude oil from rice bran* (Patent N.º 4,384,837).
- Najamuddin, U., Gorji, S. G., & Fitzgerald, M. (2021). Genotypic variability in the composition of soluble protein from rice bran – Opportunities for nutrition. *Journal of Food Composition and Analysis*, 103(July). <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.104077>
- Neville, M., Tarrega, A., Hewson, L., & Foster, T. (2017). Consumer-orientated development of hybrid beef burger and sausage analogues. *Food Science and Nutrition*, 5(4), 852-864. <https://doi.org/10.1002/fsn3.466>
- Ning, F., Ge, Z., Qiu, L., Wang, X., Luo, L., Xiong, H., & Huang, Q. (2020). Double-induced se-enriched peanut protein nanoparticles preparation, characterization and stabilized food-grade pickering emulsions. *Food Hydrocolloids*, 99(August 2019). <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105308>

- Nordin, N. N., Karim, R., Ghazali, H. M., Adzahan, N. M., & Sultan, M. T. (2014). Effects of various stabilization techniques on the nutritional quality and antioxidant potential of brewer's rice. *J. Eng. Sci. Technol.*, 9, 347–363.
- Orthoefer, F. T. (2005). Rice Bran Oil. *Bailey's Industrial Oil and Fat Products*, 6(6), 465-489.
- Pandey, R., & Shrivastava, S. L. (2018). Comparative evaluation of rice bran oil obtained with two-step microwave assisted extraction and conventional solvent extraction. *Journal of Food Engineering*, 218, 106-114. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2017.09.009>
- Pantoa, T., Baricevic-Jones, I., Suwannaporn, P., Kadowaki, M., Kubota, M., Roytrakul, S., & Mills, E. N. C. (2020). Young rice protein as a new source of low allergenic plant-base protein. *Journal of Cereal Science*, 93(January). <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.102970>
- Paraman, I., Hettiarachchy, N. S., & Schaefer, C. (2008). Preparation of rice endosperm protein isolate by alkali extraction. *Cereal Chemistry*, 85(1), 76-81. <https://doi.org/10.1094/CCHEM-85-1-0076>
- Patel, M., & Naik, S. N. (2004). Gamma Oryzanol from Rice Bran Oil-A Review. *Journal of Scientific and Industrial Research*, 596-578.
- Patil, S. S., Kar, A., & Mohapatra, D. (2016). Stabilization of rice bran using microwave: Process optimization and storage studies. *Food and Bioproducts Processing*, 99, 204-211. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.05.002>
- Pedrol, N. (2001). Handbook of Plant Ecophysiology Techniques. *Handbook of Plant Ecophysiology Techniques*, January. <https://doi.org/10.1007/0-306-48057-3>
- Pestana, V. R., Zambiazzi, R. C., Mendonça, C. R. B., Bruscatto, M. H., & Ramis-Ramosc, G. (2009). Influencia del procesamiento industrial sobre las características químico-físicas y contenido en lípidos y antioxidantes del salvado de arroz. *Grasas y Aceites*, 60(2), 184-193. <https://doi.org/10.3989/gya.075108>
- Petersson, K., Godard, O., Eliasson, A. C., & Tornberg, E. (2014). The effects of cereal additives in low-fat sausages and meatballs. Part 2: Rye bran, oat bran and barley fibre. *Meat Science*, 96(1), 503-508. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.08.019>
- Phongthai, S., Homthawornchoo, W., & Rawdkuen, S. (2017). Preparation, properties and application of rice bran protein: A review. *International Food Research Journal*, 24(1), 25-34.
- Phongthai, S., Lim, S. T., & Rawdkuen, S. (2016). Ultrasonic-Assisted Extraction of Rice Bran Protein Using Response Surface Methodology. *Journal of Food Biochemistry*, 41(2).



<https://doi.org/10.1111/jfbc.12314>

- Pimpa, B., Thongraung, C., & Sutthirak, P. (2021). Effect of solvents and extraction conditions on the properties of crude rice bran oil. *Walailak Journal of Science and Technology*, 18(17). <https://doi.org/10.48048/WJST.2021.9611>
- Pincirolì, M., Vidal, A. A., Anon, M. C., & Martinez, E. . (2009). Comparison between protein functional properties of two rice cultivars. *LWT-Food Science and Technology*, 42, 1605-1610.
- Pojić, M., Mišan, A., & Tiwari, B. (2018). Eco-innovative technologies for extraction of proteins for human consumption from renewable protein sources of plant origin. *Trends in Food Science and Technology*, 75(October 2017), 93-104. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.03.010>
- Pöri, P., Aisala, H., Liu, J., Lille, M., & Sozer, N. (2023). Structure, texture, and sensory properties of plant-meat hybrids produced by high-moisture extrusion. *Lwt*, 173(June 2022). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.114345>
- Pradeep, P. M., Jayadeep, A., Guha, M., & Singh, V. (2014). Hydrothermal and biotechnological treatments on nutraceutical content and antioxidant activity of rice bran. *Journal of Cereal Science*, 60(1), 187-192. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2014.01.025>
- Punia, S., Sandhu, K. S., & Siroha, A. K. (2019). Difference in protein content of wheat (*Triticum aestivum* L.): Effect on functional, pasting, color and antioxidant properties. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 18(4), 378-384. <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2017.12.005>
- Puri, M., Sharma, D., & Barrow, C. J. (2012). Enzyme-assisted extraction of bioactives from plants. *Trends in Biotechnology*, 30(1), 37-44. <https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2011.06.014>
- Qi, X., Cheng, L., Li, X., Zhang, D., Wu, G., Zhang, H., Wang, L., Qian, H., & Wang, Y. (2019). Effect of cooking methods on solubility and nutrition quality of brown rice powder. *Food Chemistry*, 274(March 2018), 444-451. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.164>
- Rafe, A., & Sadeghian, A. (2017). Stabilization of Tarom and Domesiah cultivars rice bran: Physicochemical, functional and nutritional properties. *Journal of Cereal Science*, 74, 64-71. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2017.01.019>
- Rathnakumar, K., Balakrishnan, G., Ramesh, B., Sujayasree, O. J., Pasupuleti, S. K., & Pandiselvam, R. (2023). Impact of emerging food processing technologies on structural and functional modification of proteins in plant-based meat alternatives: An updated review. *Journal of Texture Studies*, 54(4), 599-612. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12747>



- Reguengo, L. M., Salgaço, M. K., Sivieri, K., & Maróstica Júnior, M. R. (2022). Agro-industrial by-products: Valuable sources of bioactive compounds. *Food Research International*, 152(November 2021). <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110871>
- Ren, F., Feng, Y., Zhang, H., & Wang, J. (2021). Effects of modification methods on microstructural and physicochemical characteristics of defatted rice bran dietary fiber. *Lwt*, 151(July). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112161>
- Ribas Brondani, F., Gasparetto, H., & Salau, N. P. (2023). Sustainable extraction of rice bran. *Chemical Engineering Research and Design*, 197, 342-354. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2023.07.047>
- Ritchie, H., Rosado, P., & Roxer, M. (2017). *Our World Data*. Meat and Dairy Production. <https://ourworldindata.org/meat-production>
- Rivero Meza, S. L., Cañizares, L., Dannenberg, B., Peres, B. B., Rodrigues, L. A., Mardade, C., de Leon, M. A., Gaioso, C. A., Egea, I., & de Oliveira, M. (2024). Sustainable rice bran protein: Composition, extraction, quality properties and applications. *Trends in Food Science & Technology*, 145(July 2023), 104355. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2024.104355>
- Robin, F., Schuchmann, H. P., & Palzer, S. (2012). Dietary fiber in extruded cereals: Limitations and opportunities. *Trends in Food Science and Technology*, 28(1), 23-32. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.06.008>
- Romero, A., Beaumal, V., David-Briand, E., Cordobes, F., Guerrero, A., & Anton, M. (2012). Interfacial and emulsifying behaviour of rice protein concentrate. *Food Hydrocolloids*, 29(1), 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.01.013>
- Romero, P., Alvis, A., & Garcia, C. (2016). Evaluación de la textura de una emulsión cárnica empleando mezclas de harina de arroz (*Oryza sativa*) partido y almidón comercial | Evaluation of the texture of a meat emulsion using mixtures rice flour (*Oryza Sativa*) party and commercial starch. *Vitae*, 23, 536-540.
- Sahini, M. G., & Mutegea, E. (2023). Extraction, phytochemistry, nutritional, and therapeutical potentials of rice bran oil: A review. *Phytomedicine Plus*, 3(2). <https://doi.org/10.1016/j.phyplu.2023.100453>
- Santos, J. M. dos, Ignácio, E. O., Bis-Souza, C. V., & Silva-Barretto, A. C. da. (2021). Performance of reduced fat-reduced salt fermented sausage with added microcrystalline cellulose, resistant starch and oat fiber using the simplex design. *Meat Science*, 175(December 2020). <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2021.108433>
- Santos, M. dos, Rocha, D. A. V. F. da, Bernardinelli, O. D., Oliveira Júnior, F. D., de Sousa, D.

- G., Sabadini, E., da Cunha, R. L., Trindade, M. A., & Pollonio, M. A. R. (2022). Understanding the Performance of Plant Protein Concentrates as Partial Meat Substitutes in Hybrid Meat Emulsions. *Foods*, *11*(21), 1-18. <https://doi.org/10.3390/foods11213311>
- Sarıçoban, C., Özalp, B., Yilmaz, M. T., Özen, G., Karakaya, M., & Akbulut, M. (2008). Characteristics of meat emulsion systems as influenced by different levels of lemon albedo. *Meat Science*, *80*(3), 599-606. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.02.008>
- Sarıçoban, C., Yilmaz, M. T., Karakaya, M., & Tiske, S. S. (2010). The effect of different levels of sunflower head pith addition on the properties of model system emulsions prepared from fresh and frozen beef. *Meat Science*, *84*(1), 186-195. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.08.046>
- Sayasoonthorn, S., Kaewrueng, S., & Patharasathapornkulp, P. (2012). Rice Bran Oil Extraction by Screw Press Method: Optimum Operating Settings, Oil Extraction Level and Press Cake Appearance. *Rice Science*, *19*(1), 75-78. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/s1672-6308\(12\)60024-9](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/s1672-6308(12)60024-9)
- Schösler, H., Boer, J. de, & Boersema, J. J. (2012). Can we cut out the meat of the dish? Constructing consumer-oriented pathways towards meat substitution. *Appetite*, *58*(1), 39-47. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2011.09.009>
- SEDCA. (2019). *Sociedad Española de Dietética y Ciencias de la Alimentación*. Fibra Dietética. <https://nutricion.org/portfolio-item/fibra-dietetica/>
- Shan, L. C., Regan, Á., Monahan, F. J., Li, C., Lalor, F., Murrin, C., Wall, P. G., & McConnon, Á. (2017). Consumer preferences towards healthier reformulation of a range of processed meat products: A qualitative exploratory study. *British Food Journal*, *119*(9), 2013-2026. <https://doi.org/10.1108/BFJ-11-2016-0557>
- Sharif, M. K., Butt, M. S., Anjum, F. M., & Khan, S. H. (2013). (2013). Rice Bran: A Novel Functional Ingredient. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, *54*(6), 807-816. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/10408398.2011.608586>
- Sharma, S., Kaur, M., Goyal, R., & Gill, B. S. (2014). Physical characteristics and nutritional composition of some new soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) genotypes. *Journal of Food Science and Technology*, *51*(3), 551-557. <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0517-7>
- Shchekoldina, T., & Aider, M. (2014). Production of low chlorogenic and caffeic acid containing sunflower meal protein isolate and its use in functional wheat bread making. *Journal of Food Science and Technology*, *51*(10), 2331-2343. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0780-2>
- Shepon, A., Eshel, G., Noor, E., & Milo, R. (2016). Energy and protein feed-to-food conversion

- efficiencies in the US and potential food security gains from dietary changes. *Environmental Research Letters*, 11(10). <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/10/105002>
- Shoaib, A., Sahar, A., Sameen, A., Saleem, A., & Tahir, A. T. (2018). Use of pea and rice protein isolates as source of meat extenders in the development of chicken nuggets. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(9). <https://doi.org/10.1111/jfpp.13763>
- Shukla, H. S., & Pratap, A. (2017). Comparative studies between conventional and microwave assisted extraction for rice bran oil. *Journal of Oleo Science*, 66(9), 973-979. <https://doi.org/10.5650/jos.ess17067>
- Shukla, P., Skea, J., Calvo Buendía, E., Masson-Delmotte, V., Portner, H., Roberts, D., & et al. (2020). Climate Change and Land An IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems Summary for Policymakers. *International Encyclopedia of Geography: People, the Earth, Environment and Technology*, 1-15.
- Siegrist, M., & Hartmann, C. (2019). Impact of sustainability perception on consumption of organic meat and meat substitutes. *Appetite*, 132(September 2018), 196-202. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2018.09.016>
- Silventoinen, P., Rommi, K., Holopainen-Mantila, U., Poutanen, K., & Nordlund, E. (2019). Biochemical and Techno-Functional Properties of Protein- and Fibre-Rich Hybrid Ingredients Produced by Dry Fractionation from Rice Bran. *Food and Bioprocess Technology*, 12(9), 1487-1499. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02307-w>
- Singh, J., Karmakar, S., & Banerjee, R. (2019). Extraction and nutritional properties of protein derived from rice (*Oryza sativa*) based distillery byproducts:a potential substrate for food formulation. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 22(May). <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2019.101364>
- Singh, S., Gamlath, S., & Wakeling, L. (2007). Nutritional aspects of food extrusion: A review. *International Journal of Food Science and Technology*, 42(8), 916-929. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01309.x>
- Singh, T. P., Siddiqi, R. A., & Sogi, D. S. (2021). Enzymatic modification of rice bran protein: Impact on structural, antioxidant and functional properties. *Lwt*, 138(November 2020). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110648>
- Singh, T. P., & Sogi, D. S. (2018). Comparative study of structural and functional characterization of bran protein concentrates from superfine, fine and coarse rice cultivars. *International Journal of Biological Macromolecules*, 111, 281-288.

<https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.12.161>

- Sofi, P. A., Wani, S. A., Rather, A. G., & Wani, S. H. (2009). Quality protein maize (QPM): Genetic manipulation for the nutritional fortification of maize. *Journal of Plant Breeding and Crop Science*, 1(6), 244-253. <http://www.academicjournals.org/jpbcs>
- Sookwong, P., & Mahatheeranont, S. (2017). Supercritical CO<sub>2</sub> extraction of rice bran oil – the technology, manufacture, and applications. *Journal of Oleo Science*, 66(6), 557-564. <https://doi.org/10.5650/jos.ess17019>
- Soquetta, M. B., Terra, L. de M., & Bastos, C. P. (2018). Green technologies for the extraction of bioactive compounds in fruits and vegetables. *CYTA - Journal of Food*, 16(1), 400-412. <https://doi.org/10.1080/19476337.2017.1411978>
- Spencer, M., Kurzer, A., Cienfuegos, C., & Guinard, J. X. (2018). Student consumer acceptance of plant-forward burrito bowls in which two-thirds of the meat has been replaced with legumes and vegetables: The Flexitarian Flip™ in university dining venues. *Appetite*, 131(February), 14-27. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2018.08.030>
- Talens, C., Llorente, R., & Ibarguen, M. (2023). Salchichas híbridas : modelando el efecto del reemplazo parcial de carne con brócoli , harina de bagazo de cerveza y harina de insecto ( *Tenebrio molitor* ). *Eurocarne*, 316, 47-60.
- Talukder, S. (2015). Effect of Dietary Fiber on Properties and Acceptance of Meat Products: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(7), 1005-1011. <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.682230>
- Tang, S., Hettiarachchy, N. S., & Shellhammer, T. H. (2002). Protein extraction from heat-stabilized defatted rice bran. 1. Physical processing and enzyme treatments. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50(25), 7444-7448. <https://doi.org/10.1021/jf025771w>
- Tian, X., Wang, G., Jin, K., Ding, Y., & Cheng, D. (2022). Rice hull insoluble dietary fiber alleviated experimental colitis induced by low dose of dextran sulfate sodium in cadmium-exposed mice. *Food and Function*, 13(13), 7215-7225. <https://doi.org/10.1039/d2fo00891b>
- Tiwari, B. K. (2015). Ultrasound: A clean, green extraction technology. *TrAC - Trends in Analytical Chemistry*, 71, 100-109. <https://doi.org/10.1016/j.trac.2015.04.013>
- Tomita, K., Machmudah, S., Wahyudiono, Fukuzato, R., Kanda, H., Quitain, A. T., Sasaki, M., & Goto, M. (2014). Extraction of rice bran oil by supercritical carbon dioxide and solubility consideration. *Separation and Purification Technology*, 125, 319-325. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2014.02.008>

- Tran, K. N., Witt, T., Gidley, M. J., & Fitzgerald, M. (2018). Accounting for the effect of degree of milling on rice protein extraction in an industrial setting. *Food Chemistry*, 253(November 2017), 221-226. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.01.147>
- Turhan, S., Sagir, I., & Sule Ustun, N. (2005). Utilization of hazelnut pellicle in low-fat beef burgers. *Meat Science*, 71(2), 312-316. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2005.03.027>
- Uquiche, E., Jeréz, M., & Ortíz, J. (2008). Effect of pretreatment with microwaves on mechanical extraction yield and quality of vegetable oil from Chilean hazelnuts (*Gevuina avellana* Mol). *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 9(4), 495-500. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2008.05.004>
- Valenzuela, C., Abugoch, L., Tapia, C., & Gamboa, A. (2013). Effect of alkaline extraction on the structure of the protein of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and its influence on film formation. *International Journal of Food Science and Technology*, 48(4), 843-849. <https://doi.org/10.1111/ijfs.12035>
- Vallabha, V., Indira, T. N., Jyothi Lakshmi, A., Radha, C., & Tikku, P. K. (2015). Enzymatic process of rice bran: a stabilized functional food with nutraceuticals and nutrients. *Journal of Food Science and Technology*, 52(12), 8252-8259. <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1926-9>
- Venkateswara Rao, M., Sunil, C. K., Rawson, A., Chidanand, D. V., & Venkatachlapathy, N. (2021). Modifying the plant proteins techno-functionalities by novel physical processing technologies: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 63(19), 4070-4091. <https://doi.org/https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1997907>
- Waitrose, & P. (2017). *Pork and Lentil Sausages? Just One New Way to Good Health*. Food4Media. <https://food4media.com/showPRPreview/100047104>
- Wang, H., Geng, H., Tang, H., Wang, L., Yu, D., Wang, J., & Song, Y. (2019a). Enzyme-assisted aqueous extraction of oil from rice germ and its physicochemical properties and antioxidant activity. *Journal of Oleo Science*, 68(9), 881-891. <https://doi.org/10.5650/jos.ess19060>
- Wang, J., Suo, G., Wit, M. De, Boom, R. M., & Schutyser, M. A. I. (2016). Dietary fibre enrichment from defatted rice bran by dry fractionation. *Journal of Food Engineering*, 186, 50-57. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2016.04.012>
- Wang, M., Hettiarachchy, N. S., Qi, M., Burks, W., & Siebenmorgen, T. (1999). Preparation and functional properties of rice bran protein isolate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 47(2), 411-416. <https://doi.org/10.1021/jf9806964>
- Wang, N., Maximiuk, L., Fenn, D., Nickerson, M. T., & Hou, A. (2020). Development of a

- method for determining oil absorption capacity in pulse flours and protein materials. *Cereal Chemistry*, 97(6), 1111-1117. <https://doi.org/10.1002/cche.10339>
- Wang, T., Chen, X., Wang, W., Wang, L., Jiang, L., Yu, D., & Xie, F. (2021a). Effect of ultrasound on the properties of rice bran protein and its chlorogenic acid complex. *Ultrasonics Sonochemistry*, 79. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105758>
- Wang, T., Khir, R., Pan, Z., & Yuan, Q. (2017). Simultaneous rough rice drying and rice bran stabilization using infrared radiation heating. *Lwt*, 78, 281-288. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.12.041>
- Wang, Y. (2019b). Applications of rice bran oil. *Rice Bran and Rice Bran Oil: Chemistry, Processing and Utilization*, 159-168. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812828-2.00006-8>
- Wang, Y., Zhang, H., Tao, Y., Xu, X., & Zhao, X. (2024). Pre-emulsion constructed with modified rice bran fiber and its application in low-fat chicken meatballs. *Lwt*, 201(May), 116282. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116282>
- Wang, Z., Sun, Y., Dang, Y., Cao, J., Pan, D., Guo, Y., & He, J. (2021b). Water-insoluble dietary fibers from oats enhance gel properties of duck myofibrillar proteins. *Food Chemistry*, 344(November 2020), 128690. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128690>
- Wen, Y., Niu, M., Zhang, B., Zhao, S., & Xiong, S. (2017). LWT - Food Science and Technology Structural characteristics and functional properties of rice bran dietary fiber modified by enzymatic and enzyme-micronization treatments. *LWT - Food Science and Technology*, 75, 344-351. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.09.012>
- Wijarnprecha, K., Aryasuk, K., Santiwattana, P., Sonwai, S., & Rousseau, D. (2018). Structure and rheology of oleogels made from rice bran wax and rice bran oil. *Food Research International*, 112(January), 199-208. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.06.005>
- Wilson, J., & Wilson, G. J. (2006). Contemporary Issues in Protein Requirements and Consumption for Resistance Trained Athletes. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 3(1), 6-27. <https://doi.org/10.1186/1550-2783-3-1-7>
- Wu, D., Wang, H., Guo, X., Zhang, Z., Gao, Z., Gao, S., Liu, Z., Rao, S., & Meng, X. (2023). Insight into the mechanism of enhancing myofibrillar protein gel hardness by ultrasonic treatment combined with insoluble dietary fiber from oat. *Lwt*, 178(January), 114539. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114539>
- Wu, G., Fanzo, J., Miller, D. D., Pingali, P., Post, M., Steiner, J. L., & Thalacker-Mercer, A. E. (2014). Production and supply of high-quality food protein for human consumption: Sustainability, challenges, and innovations. *Annals of the New York Academy of Sciences*,



1321(1), 1-19. <https://doi.org/10.1111/nyas.12500>

- Wu, X., Li, F., & Wu, W. (2020). Effects of rice bran rancidity on the oxidation and structural characteristics of rice bran protein. *Lwt*, 120(October 2019), 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108943>
- Xia, N., Wang, J. M., Gong, Q., Yang, X. Q., Yin, S. W., & Qi, J. R. (2012). Characterization and In Vitro digestibility of rice protein prepared by enzyme-assisted microfluidization: Comparison to alkaline extraction. *Journal of Cereal Science*, 56(2), 482-489. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2012.06.008>
- Xu, D., Hao, J., Wang, Z., Liang, D., Wang, J., Ma, Y., & Zhang, M. (2021). Physicochemical properties, fatty acid compositions, bioactive compounds, antioxidant activity and thermal behavior of rice bran oil obtained with aqueous enzymatic extraction. *Lwt*, 149(11), 111817. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111817>
- Xu, Q., Cao, W., Xu, L., Liu, Y., Zhang, H., Yin, T., & Li, T. (2018). Mechanical property stability of soy protein isolate films plasticized by a biological glycerol-based polyester and application in the preservation of fresh-cut apples. *Journal of Food Processing and Preservation*, 42(12), 1-14. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13829>
- Xu, X., Zhong, J., Chen, J., Liu, C., Luo, L., Luo, S., & McClements, D. J. (2016). Effectiveness of partially hydrolyzed rice glutelin as a food emulsifier: Comparison to whey protein. *Food Chemistry*, 213, 700–707.
- Yadav, R. B., Yadav, B. S., & Chaudhary, D. (2011). Extraction, characterization and utilization of rice bran protein concentrate for biscuit making. *British Food Journal*, 113(9), 1173–1182.
- Yadav, S., Pathera, A. K., Islam, R. U., Malik, A. K., & Sharma, D. P. (2018). Effect of wheat bran and dried carrot pomace addition on quality characteristics of chicken sausage. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 31(5), 729-737. <https://doi.org/10.5713/ajas.17.0214>
- Yapar, A., Atay, S., Kayacier, A., & Yetim, H. (2006). Effects of different levels of salt and phosphate on some emulsion attributes of the common carp (*Cyprinus carpio* L., 1758). *Food Hydrocolloids*, 20(6), 825-830. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2005.08.005>
- Yeom, H. J., Lee, E. H., Ha, M. S., Ha, S. Do, & Bae, D. H. (2010). Production and physicochemical properties of rice bran protein isolates prepared with autoclaving and enzymatic hydrolysis. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*, 53(1), 62-70. <https://doi.org/10.3839/jksabc.2010.011>



- Yilmaz, N., Tuncel, N. B., & Kocabiyik, H. (2014). Infrared stabilization of rice bran and its effects on  $\gamma$ -oryzanol content, tocopherols and fatty acid composition. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 94(8), 1568-1576. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6459>
- Younis, K., Yousuf, O., Qadri, O. S., Jahan, K., Osama, K., & Islam, R. U. (2022). Incorporation of soluble dietary fiber in comminuted meat products: Special emphasis on changes in textural properties. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 27(November 2021), 100288. <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2021.100288>
- Youssef, M. K., & Barbut, S. (2011). Effects of two types of soy protein isolates, native and preheated whey protein isolates on emulsified meat batters prepared at different protein levels. *Meat Science*, 87(1), 54-60. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.09.002>
- Yu, C. wei, Hu, Q. rui, Wang, H. wei, & Deng, Z. yuan. (2020). Comparison of 11 rice bran stabilization methods by analyzing lipase activities. *Journal of Food Processing and Preservation*, 44(4), 1-14. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14370>
- Zhang, H. J., Zhang, H., Wang, L., & Guo, X. N. (2012). Preparation and functional properties of rice bran proteins from heat-stabilized defatted rice bran. *Food Research International*, 47(2), 359-363. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.08.014>
- Zhang, S., Ma, Q., Deng, M., Jia, X., Huang, F., Dong, L., Zhang, R., Sun, Z., & Zhang, M. (2024). Composition, structural, physicochemical and functional properties of dietary fiber from different milling fractions of black rice bran. *Lwt*, 195(December 2023). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.115743>
- Zhang, Y., Diao, Y., Zhang, W., Xu, W., Hu, Z., & Yi, Y. (2022). Influence of molecular structure and interface behavior on foam properties of rice bran protein nano-particles. *Lwt*, 163(January). <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113537>
- Zhao, Y., Hou, Q., Cao, S., Wang, Y., Zhou, G., & Zhang, W. (2019). Effect of regenerated cellulose fiber on the properties and microstructure of emulsion model system from meat batters. *Food Hydrocolloids*, 87(March 2018), 83-89. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.07.044>
- Zhu, S. M., Lin, S. L., Ramaswamy, H. S., Yu, Y., & Zhang, Q. T. (2017). Enhancement of Functional Properties of Rice Bran Proteins by High Pressure Treatment and Their Correlation with Surface Hydrophobicity. *Food and Bioprocess Technology*, 10(2), 317-327. <https://doi.org/10.1007/s11947-016-1818-7>
- Zhuang, X., Yin, T., Han, W., & Zhang, X. (2019). Nutritional ingredients and active compositions of defatted rice bran. *Rice Bran and Rice Bran Oil: Chemistry, Processing*

*and Utilization*, 247-270. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812828-2.00010-X>

Zigoneanu, I. G., Williams, L., Xu, Z., & Sabliov, C. M. (2008). Determination of antioxidant components in rice bran oil extracted by microwave-assisted method. *Bioresource Technology*, 99(11), 4910-4918. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.09.067>

Zumbado, M. R. (2019). *Evaluación del efecto de la adición de extracto de proteína del salvado de arroz sobre las propiedades fisicoquímicas, sensoriales, reológicas y en el almacenamiento de una galleta libre de gluten.*