






Efecto de la inclusión de harinas de cáscara de papa y quinua en la calidad de salchicha

Effect of the Inclusion of Potato Peel and Quinoa Flours on Sausage Quality

WILFREDO TRASMONTE PINDAY^{1*}  | ANTONIO JESÚS MATOS ALEJANDRO²  | JULIO PABLO
GODENZI VARGAS³  | ALFREDO LÁZARO LUDEÑA GUTIÉRREZ⁴  | CRONWELL EDUARDO
ALARCÓN MUNDACA⁵ 

Afiliación:

^{1,2,3,5}Departamento de Ingeniería Química, Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, Ayacucho, Perú

⁴Departamento de Ingeniería Agroindustrial e Industrias Alimentarias, Universidad Nacional de Piura, Piura, Perú

Información del artículo:

Recibido: 01/04/2026

Aceptado: 20/05/2026

Publicado: 27/05/2026

Autor de correspondencia: E-mail: *wilfredo.trasmonte@unsch.edu.pe

Resumen

La harina de quinua (HQ) y la harina de cáscara de papa (HCP) constituyen materias primas adecuadas para su uso en productos cárnicos emulsificados debido a sus propiedades funcionales y nutricionales. Por tanto, el objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la HQ y la HCP sobre las propiedades de calidad de salchichas tipo Frankfurt. El estudio se desarrolló mediante un diseño de mezclas con vértices extremos y centroide. Se prepararon nueve tratamientos experimentales y se realizaron evaluaciones tecnológicas, fisicoquímicas y sensoriales. Los resultados mostraron que la HQ tuvo una influencia favorable sobre la textura, la capacidad de retención de agua y el contenido de proteína, mientras que niveles elevados de HCP tendieron a reducir la estabilidad estructural y la aceptabilidad sensorial del producto. Además, la incorporación de HQ y HCP incrementó el contenido de fibra dietética de las salchichas. La formulación optimizada estuvo compuesta por 52,19 % de carne de cerdo, 1,0 % de HCP y 6,81 % de HQ, alcanzando una deseabilidad global de 0,56. Estos hallazgos evidencian la viabilidad del uso de HQ y niveles moderados de HCP en la reformulación de derivados cárnicos.

Palabras clave: calidad alimentaria; pseudocereales; tecnología cárnica; valorización de subproductos.

Abstract

Quinoa flour (QF) and potato peel flour (PPF) are suitable raw materials for use in emulsified meat products due to their functional and nutritional properties. Therefore, the aim of this study was to evaluate the effect of QF and PPF on the quality properties of Frankfurt-type sausages. The study was conducted using a mixture design with extreme vertices and centroid. Nine experimental treatments were prepared, and technological, physicochemical, and sensory evaluations were performed. The results showed that QF had a favorable influence on texture, water-holding capacity, and protein content, whereas high levels of PPF tended to reduce the structural stability and sensory acceptability of the product. In addition, the incorporation of QF and PPF increased the dietary fiber content of the sausages. The optimized formulation consisted of 52.19 % pork meat, 1.0 % PPF, and 6.81 % QF, achieving an overall desirability of 0.56. These findings demonstrate the feasibility of using QF and moderate levels of PPF in the reformulation of processed meat products.

Keywords: food quality; pseudocereals; meat technology; by-product valorization.



1. Introducción

La industria alimentaria enfrenta actualmente una creciente demanda de productos cárnicos con mejores características nutricionales, tecnológicas y funcionales, impulsada por consumidores que buscan alimentos con mayor valor agregado y formulaciones más sostenibles. En este contexto, la reformulación de productos cárnicos emulsificados adquiere gran relevancia científica e industrial, especialmente mediante la incorporación de ingredientes de origen vegetal capaces de mejorar el perfil nutricional y las propiedades tecnofuncionales sin comprometer la aceptabilidad sensorial del producto final.

Entre los productos cárnicos procesados, las salchichas tipo Frankfurt representan uno de los embutidos de mayor consumo debido a su accesibilidad, versatilidad y aceptación comercial (Paglarini et al., 2019); sin embargo, tradicionalmente presentan una limitada presencia de fibra dietética, situación que impulsa el desarrollo de nuevas formulaciones con alternativas sostenibles (Araujo-Chapa et al., 2023; Botella-Martínez et al., 2021; Ramos et al., 2014). En los últimos años, la valorización de subproductos agroindustriales surge como una estrategia relevante dentro de la economía circular alimentaria ante la necesidad de reducir pérdidas y aprovechar materiales con propiedades nutricionales y tecnológicas. Diversos residuos generados por la agroindustria contienen compuestos bioactivos, fibra dietética y antioxidantes que pueden reincorporarse en matrices alimentarias para mejorar su funcionalidad y promover el aprovechamiento sostenible de recursos (Mármol et al., 2021; Zuñiga-Martínez et al., 2022).

Estos subproductos incluyen a la cáscara de papa (*Solanum tuberosum*), considerada uno de los residuos más abundantes derivados del procesamiento industrial de tubérculos. Aunque históricamente se consideró un desecho de bajo valor, investigaciones evidencian su contenido significativo de fibra dietética, compuestos fenólicos, minerales y antioxidantes naturales (Akyol et al., 2016). La harina obtenida a partir de este subproducto genera interés en la industria alimentaria debido a su capacidad de retención de agua y aporte de fibra insoluble,

características que pueden favorecer la estabilidad estructural y la textura de productos procesados (Vega, 2020). No obstante, su incorporación debe evaluarse cuidadosamente para evitar efectos adversos sobre la aceptabilidad sensorial del producto final (Ben Jeddou et al., 2017; Kaur et al., 2022). Asimismo, el aprovechamiento de la cáscara de papa representa una alternativa sostenible para reducir residuos agroindustriales y desarrollar ingredientes funcionales de bajo costo con valor agregado (Food and Agriculture Organization [FAO], 2008).

Por otra parte, la quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) posee reconocimiento internacional debido a su elevado valor nutricional y su potencial aplicación en alimentos funcionales. Este pseudocereal andino contiene proteínas de alto valor biológico, aminoácidos esenciales, fibra dietética, vitaminas, minerales y compuestos bioactivos con actividad antioxidante (Bazile, 2014; Thakur et al., 2024; Wang et al., 2021). Asimismo, sus proteínas y almidones participan en procesos de emulsificación, gelificación y retención de agua, características relevantes en sistemas alimentarios emulsificados. Estas propiedades adquieren especial importancia en productos cárnicos procesados, donde la estabilidad de la emulsión y la textura constituyen atributos determinantes para la calidad final y la aceptación del consumidor (López-Castejón et al., 2020). Además, las proteínas de la quinua poseen características anfifílicas que favorecen la formación y estabilidad de emulsiones alimentarias, permitiendo una mejor interacción entre las fases acuosa y lipídica en productos emulsificados (Muchekeza et al., 2026; Vivar-Vera et al., 2018).

Estudios sobre harina de quinua y harinas de cultivos andinos reportan mejoras en el perfil nutricional, la estabilidad emulsificante y la aceptación sensorial de productos cárnicos; sin embargo, concentraciones elevadas pueden afectar atributos como textura, color, sabor y jugosidad, lo que evidencia la necesidad de establecer niveles adecuados de incorporación (Abanto, 2013; Obando, 2015; Ochoa, 2023; Ocampo et al., 2015). A pesar de estos avances, aún existe información limitada sobre el efecto combinado de HCP y HQ en matrices cárnicas



emulsificadas tipo Frankfurt. La interacción entre proteínas cárnicas, fibra vegetal y almidones provenientes de pseudocereales puede modificar significativamente la capacidad de retención de agua, la estructura emulsificada y las propiedades texturales del producto final (Barbut, 2015). En consecuencia, resulta necesario desarrollar formulaciones que incrementen el valor nutricional y funcional sin afectar la estabilidad ni la aceptabilidad del embutido. En este contexto, el estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de la inclusión de HCP y HQ sobre la calidad tecnológica, fisicoquímica y sensorial de salchichas tipo Frankfurt mediante un diseño de mezclas.

2. Metodología

2.1. Materias primas e insumos

La investigación se desarrolló en los laboratorios de Tecnología y Análisis de Alimentos de la Facultad de Ingeniería Química y Metalurgia de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, ubicada en Ayacucho, Perú. Como materias primas se utilizaron carne de cerdo, harina de quinua (HQ) y harina de cáscara de papa (HCP). La CC y la HQ fueron adquiridas en el mercado local de la ciudad de Ayacucho, mientras que la HCP fue obtenida a partir de papa variedad Canchán mediante un proceso de lavado, pelado, secado y molienda.

Cabe resaltar que la HCP fue obtenida mediante secado controlado en estufa hasta alcanzar una humedad aproximada de 10–12 %, seguido de una molienda en molino de discos y posterior tamizado, de acuerdo con procedimientos descritos previamente para la obtención de harinas a partir de subproductos vegetales (Corado y Escamilla, 2017; Kaur et al., 2022; Thakur et al., 2024).

La formulación base empleada para la elaboración de las salchichas tipo Frankfurt estuvo constituida por CC, grasa dorsal, HQ, HCP, maicena, agua helada y aditivos de uso tecnológico. La composición porcentual de los insumos utilizados se presenta en la Tabla 1.

Tabla 1

Formulación base

Insumos	Proporción (%)
Carne de cerdo, HQ y HCP	70,0
Grasa dorsal (tocino)	7,9
Maicena	4,0
Agua helada/hielo picado	17,0
Sal	0,3
Polifosfato	0,4
Pimienta molida	0,05
Nuez moscada	0,1
Comino molido	0,05
Glutamato monosódico	0,1
Colorante carmín	0,1

2.2. Diseño experimental

El estudio se desarrolló mediante un diseño de mezclas con vértices extremos y centroide (Schiassi et al., 2019). Las variables independientes correspondieron a la CC, HCP y HQ, cuyos rangos de evaluación fueron establecidos de acuerdo con estudios preliminares y antecedentes reportados en productos cárnicos emulsificados (Abanto, 2013; Ochoa, 2023). Los niveles mínimos y máximos considerados para cada componente de la mezcla fueron 50–55 % para carne de cerdo, 1–3 % para harina de cáscara de papa y 4–7 % para harina de quinua. A partir de estas restricciones se generaron nueve tratamientos experimentales, los cuales permitieron evaluar el efecto individual y combinado de las variables sobre las propiedades tecnológicas, fisicoquímicas y sensoriales de las salchichas. La distribución de los tratamientos experimentales obtenidos mediante el diseño de mezclas se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2

Tratamientos experimentales evaluados

Tratamientos	HQ (%)	HCP (%)	CC (%)
T1	7,00	3,00	50,00
T2	7,00	1,00	52,00
T3	4,00	1,00	55,00
T4	4,00	3,00	53,00
T5	5,50	2,00	52,50
T6	6,25	2,50	51,25
T7	6,25	1,50	52,25
T8	4,75	1,50	53,75
T9	4,75	2,50	52,75

El comportamiento de las variables respuesta fue evaluado mediante modelos cuadráticos de mezclas, cuya estructura general se describe en la Ecuación 1.

$$Y = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 \quad (1)$$

Donde Y representa la variable respuesta; X_1 , X_2 y X_3 corresponden a CC, HCP y HQ, respectivamente; mientras que β representa los coeficientes de regresión del modelo.

2.3. Elaboración de salchichas tipo Frankfurt

La elaboración de las salchichas se realizó siguiendo operaciones unitarias convencionales empleadas en embutidos emulsificados cocidos, adaptadas para la incorporación de harinas vegetales funcionales (Feiner, 2006; Kim y Chin, 2024). Inicialmente, la carne y la grasa fueron seleccionadas y troceadas en fragmentos de aproximadamente 2–3 cm. Posteriormente, la carne fue sometida a un proceso de curado utilizando sal, azúcar y sales curantes, manteniéndose en refrigeración a 3 °C durante 24 h con el propósito de favorecer la extracción de proteínas miofibrilares y mejorar la estabilidad de la emulsión cárnica (Paltrinieri, 1985).

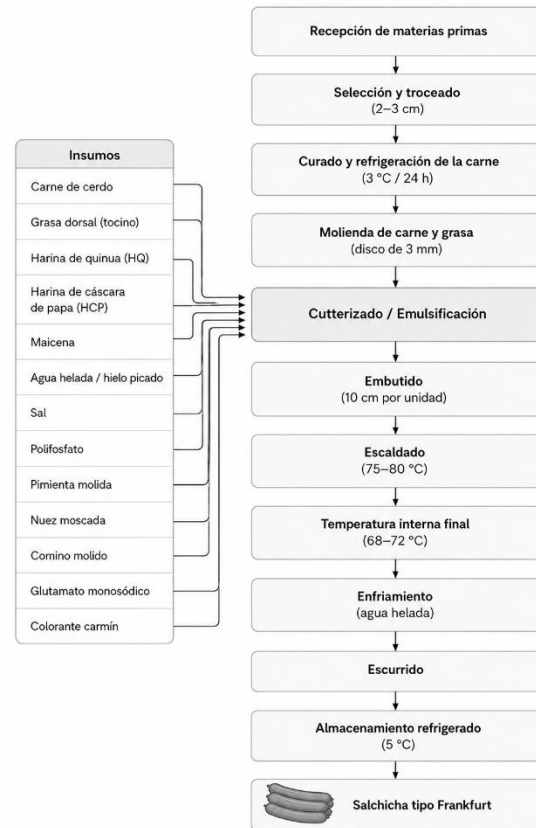
Una vez concluido el proceso de curado, la carne y la grasa fueron molidas por separado mediante una picadora equipada con disco de 3 mm de diámetro. La emulsión cárnica se preparó en cutter industrial incorporando progresivamente los ingredientes de acuerdo con el siguiente orden: carne, sal, sales curantes, polifosfatos, azúcar, parte del hielo, grasa dorsal, harina de cáscara de papa, harina de quinua, agua restante y condimentos. Este procedimiento permitió favorecer la adecuada dispersión de las harinas y la estabilidad de la emulsión.

Posteriormente, la masa emulsificada fue embutida en tripas artificiales con una longitud aproximada de 10 cm por unidad. Las salchichas fueron sometidas a un proceso de escaldado en agua caliente entre 75 y 80 °C hasta alcanzar una temperatura interna de 68–72 °C. Finalmente, los productos fueron enfriados en agua helada y almacenados en refrigeración a 5

°C hasta la realización de los análisis correspondientes.

La secuencia general del proceso de elaboración utilizado en la investigación se resume en la Figura 1.

Figura 1
Flujo de operaciones del procesamiento



2.4. Evaluación de propiedades tecnológicas, fisicoquímicas y sensoriales

Las propiedades tecnológicas evaluadas correspondieron a textura y capacidad de retención de agua (CRA). La textura se determinó mediante un penetrómetro digital (K95500, Koehler Instrument Company), empleando una prueba de penetración con aguja y registrándose la distancia de penetración (mm) como indicador instrumental de la firmeza del producto (Barbut, 2015; Shin y Choi, 2021). La capacidad de retención de agua (CRA) fue determinada mediante un método de presión, cuantificando el porcentaje de agua retenida en la matriz cárnica después de aplicar fuerza mecánica sobre la muestra. Para ello, una porción homogénea de salchicha fue colocada entre papeles filtro y sometida a presión constante; posteriormente,



se determinó la diferencia de peso antes y después del procedimiento (Barbut, 2024; Toldrá, 2010; Szmańko et al., 2021).

Las propiedades fisicoquímicas evaluadas correspondieron al contenido de proteína y fibra dietética. Todos los análisis fueron realizados utilizando metodologías oficiales de la *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC International, 2016; Ramos et al., 2023). El contenido de proteína fue determinado mediante el método Kjeldahl, basado en digestión ácida del nitrógeno orgánico, posterior destilación y titulación del amonio liberado. El porcentaje de proteína fue calculado utilizando el factor de conversión 6,25 para productos cárnicos, conforme a metodologías oficiales de análisis de alimentos. El contenido de fibra dietética fue determinado mediante digestión ácida y alcalina sucesiva utilizando soluciones estandarizadas para cuantificar el residuo fibroso insoluble presente en la muestra (Phillips et al., 2021).

En relación con la evaluación sensorial, fue realizada mediante una prueba hedónica estructurada de cinco puntos utilizando 16 panelistas consumidores no entrenados. Los atributos evaluados correspondieron a color, olor, sabor y aspecto general, debido a que representan parámetros determinantes en la aceptación comercial de productos cárnicos emulsificados (Mongi y Gomezulu, 2022). Previamente a la evaluación, las muestras fueron codificadas aleatoriamente con números de tres dígitos y presentadas en condiciones controladas de iluminación y temperatura. Cada panelista recibió porciones uniformes de los tratamientos experimentales acompañadas de agua potable para el enjuague bucal entre muestras y minimizar la fatiga sensorial. La escala hedónica utilizada estuvo conformada por cinco categorías: 1 = Me disgusta mucho, 2 = Me disgusta, 3 = Indiferente, 4 = Me gusta y 5 = Me gusta mucho.

2.5. Análisis estadístico

Los resultados obtenidos fueron procesados mediante análisis estadístico de diseño de mezclas para un nivel de significancia de 5 %. Se ajustaron modelos cuadráticos para las variables

tecnológicas y fisicoquímicas evaluadas, determinándose coeficientes de regresión, análisis de varianza (ANOVA), coeficientes de determinación (R^2), gráficos de contorno y superficies de respuesta. Posteriormente, se realizó una optimización multirrespuesta considerando simultáneamente las variables tecnológicas, fisicoquímicas y sensoriales con el propósito de identificar la formulación con mejor desempeño. La optimización fue desarrollada utilizando la función de deseabilidad propuesta por Derringer y Suich (Schiassi et al., 2019), la cual permite integrar múltiples respuestas en un único criterio de selección.

3. Resultados y discusión

Las propiedades tecnológicas, fisicoquímicas y sensoriales evaluadas mostraron variaciones entre tratamientos, evidenciando el efecto de los componentes de la mezcla sobre la estabilidad estructural, funcional y organoléptica del producto. La textura fluctuó entre 113,67 y 177,33 dmm. Los tratamientos T2 y T3 presentaron los mayores niveles de textura, mientras que T6 y T7 registraron los menores valores. Mientras que la CRA presentó valores comprendidos entre 30,27 y 72,33 %. Asimismo, el contenido de proteína osciló entre 9,45 y 12,61 %, y la fibra dietética entre 0,48 y 0,81 %. En términos sensoriales, los tratamientos con menores niveles de HCP presentaron mayores puntuaciones de aceptabilidad general, especialmente en color, sabor y aspecto general.

Los tratamientos T2 y T3 presentaron las mayores puntuaciones de aspecto general, mientras que T6 mostró la menor aceptabilidad sensorial. Asimismo, el tratamiento T2 registró el mayor puntaje para sabor, indicando una mejor percepción organoléptica por parte de los panelistas. Los resultados experimentales se presentan en la Tabla 3. Los ingredientes ricos en fibra provenientes de subproductos agroindustriales representan una alternativa importante para mejorar el perfil nutricional de productos cárnicos, aunque concentraciones elevadas pueden afectar negativamente atributos sensoriales y tecnológicos. Asimismo, Öztürk-Kerimoğlu et al (2020) en su estudio sobre formulación de salchichas bajas en grasas con

harina de quinua reportaron mejoras en propiedades funcionales y nutricionales debido a la capacidad de las proteínas y almidones de este pseudocereal para interactuar con la matriz cárnica y favorecer la estabilidad estructural del producto.

Respecto a los coeficientes de regresión estimados, la Figura 2a muestra el modelo cuadrático ajustado para la textura. Los coeficientes positivos observados para la carne de cerdo (CC) y la harina de quinua (HQ)

evidenciaron una contribución favorable sobre la firmeza del producto, mientras que la harina de cáscara de papa (HCP) presentó un efecto negativo sobre esta propiedad. Asimismo, la interacción positiva entre CC y HCP indicó un posible efecto sinérgico en determinadas proporciones de mezcla; sin embargo, la interacción negativa entre CC y HQ sugirió que concentraciones elevadas de ambos componentes podrían disminuir parcialmente la firmeza de la emulsión cárnica emulsificada.

Tabla 3

Características tecnológicas, composicionales y sensoriales de los tratamientos evaluados

Tratamientos	Tecnológica		Fisicoquímica		Sensorial			Aspecto general
	Textura (dmm)	CRA (%)	Proteína (%)	Fibra (%)	Color	Olor	Sabor	
T1	168,67	35,23	9,48	0,81	2,81	2,69	3,06	3,75
T2	169,67	69,57	9,64	0,76	4,13	2,75	3,88	4,25
T3	177,33	72,33	9,70	0,48	3,69	2,69	2,81	4,13
T4	170,00	70,30	9,45	0,53	2,75	2,56	3,06	2,94
T5	168,00	58,73	12,61	0,64	2,88	2,75	2,94	2,88
T6	113,67	34,90	9,61	0,72	3,25	2,63	2,75	2,25
T7	119,33	30,27	9,60	0,70	2,88	2,63	2,63	2,56
T8	167,33	40,00	9,62	0,56	3,56	2,88	2,44	2,69
T9	145,00	36,77	9,50	0,58	2,94	2,69	2,56	2,44

Figura 2

Coefficientes de regresión estimados

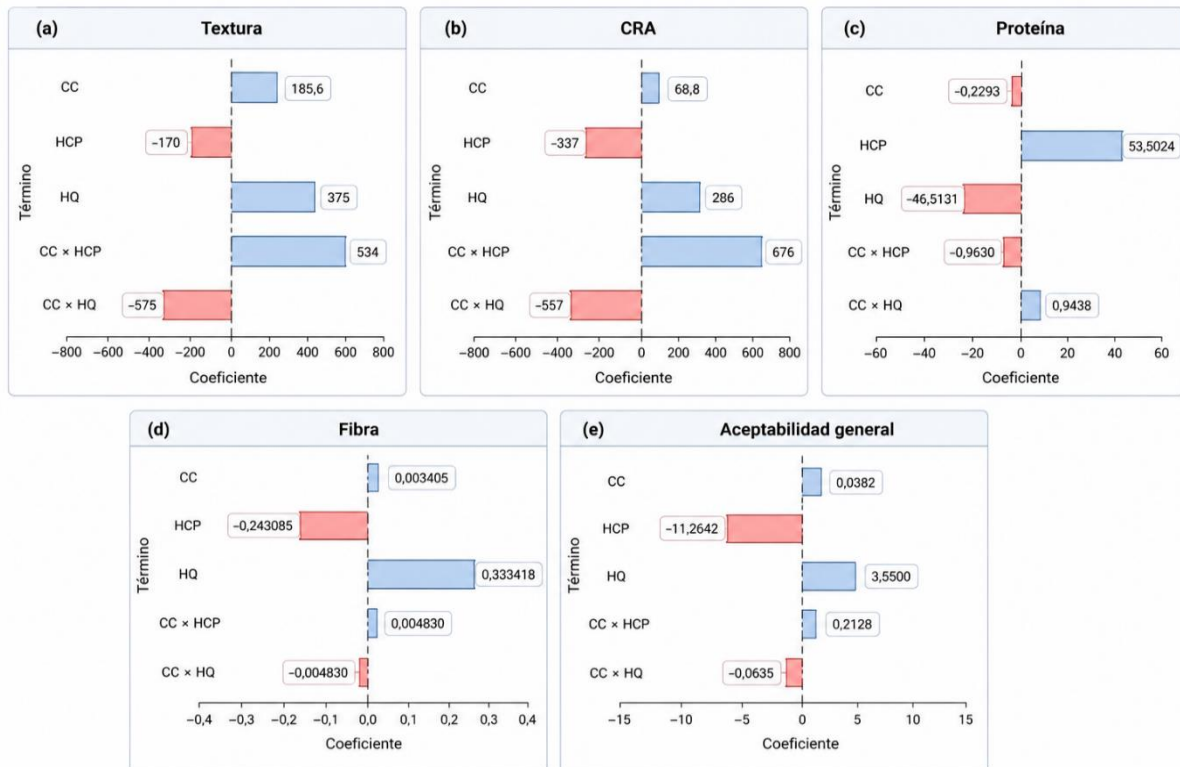
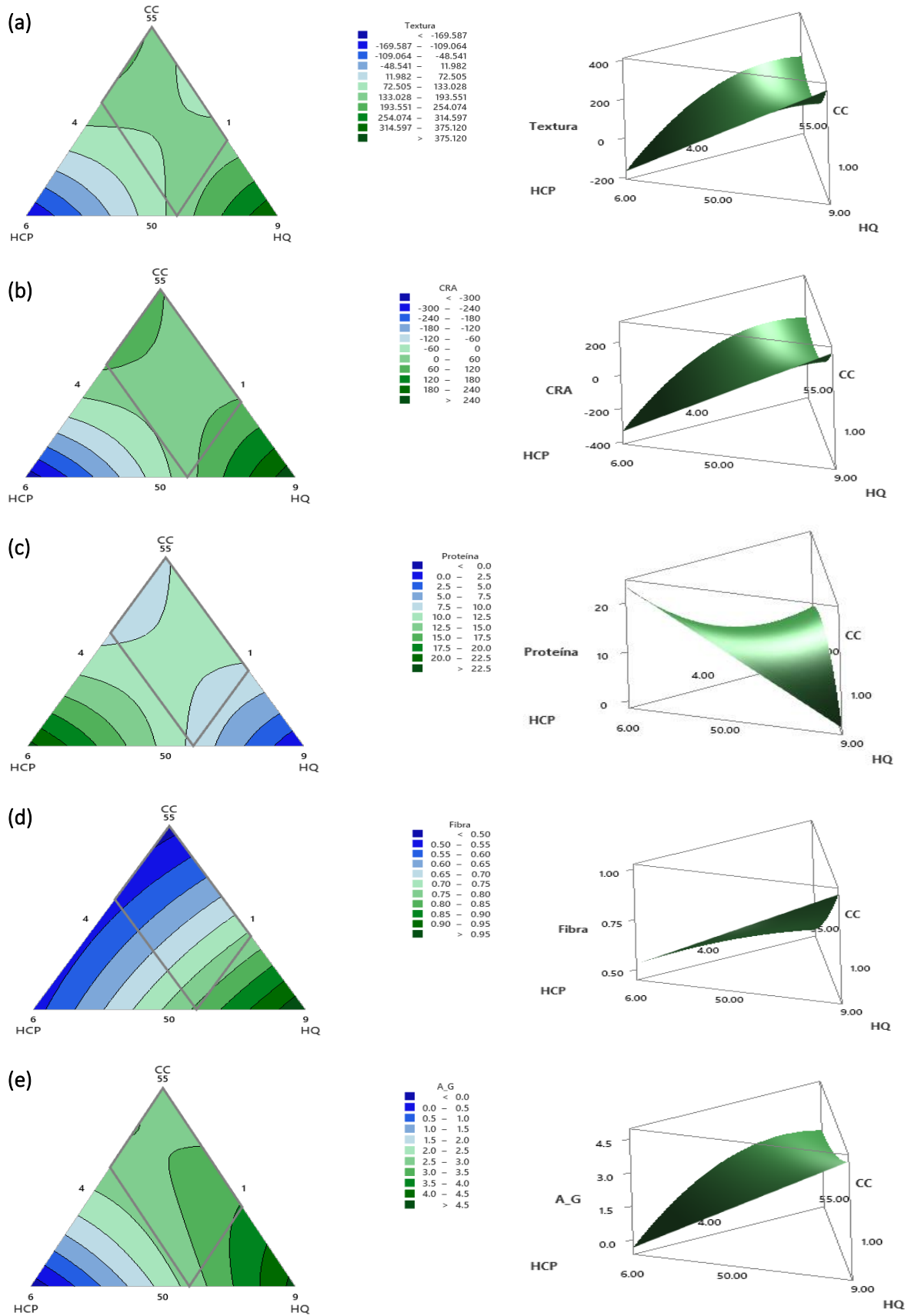




Figura 3

Gráfico de contornos del efecto (izquierda) y superficie respuesta (derecha)



De manera similar, la Figura 2b corresponde a la CRA. Los coeficientes positivos asociados a CC y HQ evidenciaron una influencia favorable sobre la retención hídrica, mientras que HCP mostró un efecto negativo. Además, la interacción positiva entre CC y HCP indicó que niveles moderados de HCP pueden integrarse parcialmente dentro de la matriz proteica cuando existe suficiente contenido de carne, favoreciendo la estabilidad del sistema emulsificado. En contraste, la interacción negativa entre CC y HQ evidenció una posible disminución de la capacidad de retención de agua cuando ambos componentes incrementan simultáneamente.

Por otro lado, la Figura 2c presenta los coeficientes asociados al contenido de proteína. En este caso, HCP mostró el mayor efecto positivo, mientras que HQ presentó un efecto negativo individual. No obstante, la interacción positiva entre CC y HQ evidenció que la combinación de ambos componentes favoreció parcialmente el contenido proteico de las salchichas, posiblemente debido a una mejor integración de los componentes sólidos.

En relación con el contenido de fibra, la Figura 2d muestra que HQ presentó el mayor efecto positivo, evidenciando su contribución al incremento de la fibra dietética en el producto final. En contraste, HCP mostró un efecto negativo individual. Asimismo, la interacción positiva entre CC y HCP sugirió una ligera contribución favorable sobre el contenido de fibra, mientras que la interacción negativa entre CC y HQ reflejó un efecto reducido cuando ambos componentes aumentaron simultáneamente. Finalmente, la Figura 2e corresponde a la aceptabilidad general. Los coeficientes positivos observados para CC y HQ indicaron una contribución favorable sobre la percepción global del producto, mientras que HCP presentó un efecto negativo sobre la aceptabilidad sensorial. De igual manera, la interacción positiva entre CC y HCP podría indicar una mejora parcial de la aceptabilidad en determinadas proporciones de mezcla.

A partir de los coeficientes de regresión estimados, se procedió al análisis de las líneas de contorno y superficies de respuesta. En relación

con la textura, la Figura 3a muestra que la HQ presentó el mayor efecto sobre esta propiedad, mientras que la interacción CC*HQ evidenció una influencia positiva significativa sobre la firmeza de la salchicha. La región de mayor dureza (verde oscuro, >150) se concentró cuando la proporción de HQ alcanzó niveles elevados dentro del rango experimental, lo que indica que la quinua actúa como un agente de refuerzo estructural. Durante la hidratación y cocción, el almidón de la quinua gelatiniza y sus proteínas globulares precipitan con las proteínas cárnicas, formando una red más densa y resistente (Kim y Chin, 2024; Shin y Choi, 2021).

Por el contrario, a medida que la mezcla se desplazó hacia el vértice correspondiente a la HCP, los niveles de textura disminuyeron hacia zonas de menor dureza (<120). Este comportamiento puede atribuirse a que la HCP, rica en fibra insoluble como celulosa y hemicelulosa, actúa como material de relleno que interrumpe la continuidad de la matriz de gel de miosina, generando una textura menos cohesiva y más blanda (Ben Jeddou et al., 2017; Feiner, 2006; Phillips et al., 2021; Yadav et al., 2017). De manera complementaria, la superficie de respuesta mostró que la textura aumentó progresivamente conforme se incrementó el contenido de HQ, confirmando que este componente ejerció el mayor impacto positivo sobre la variable, especialmente en interacción con la CC. Asimismo, la superficie evidenció que la CC proporcionó el soporte estructural basal del sistema emulsificado; sin embargo, la sustitución parcial de carne por HQ permitió incrementar la firmeza del producto, aspecto relevante en formulaciones con reducción de grasa o proteína animal donde se busca mantener la mordida característica del embutido (Barbut, 2015).

Respecto a la CRA, la Figura 3b evidenció que HQ presentó el mayor efecto positivo sobre esta propiedad, mientras que la interacción CC*HQ mostró una contribución favorable sobre la estabilidad hídrica del producto. Los valores más elevados de CRA se localizaron en regiones con altos niveles de CC y HQ, lo cual se explica porque la carne aporta la fracción de proteínas miofibrilares necesaria para retener agua, mientras que la quinua actúa como un hidrocoloide natural que complementa dicha



capacidad de retención (Araujo-Chapa et al., 2023; Szymańko et al., 2021). En contraste, cuando la formulación se desplazó hacia el vértice de HCP, especialmente por encima de 1–2 %, los valores de CRA disminuyeron considerablemente (<40 %), sugiriendo que un exceso de fibra de HCP interfiere con la formación de la red proteica y genera puntos de pérdida de humedad durante el tratamiento térmico (Toldrá, 2010). En concordancia con ello, la superficie de respuesta mostró una tendencia creciente de CRA conforme aumentó la proporción de HQ. Según Damodaran et al. (2017), las proteínas y almidones de la quinua absorben agua y se hinchan durante el escaldado, reforzando la retención capilar proporcionada por las fibras musculares de la carne. Sin embargo, cuando la sustitución de carne por harinas fue excesiva, particularmente con HCP, la superficie presentó una caída abrupta de la CRA.

En cuanto al contenido de proteína, la representación de contornos indicó que las mayores concentraciones proteicas se localizaron en regiones con elevada proporción de CC y niveles intermedios de HQ, tal como se aprecia en la Figura 3c. Mantener niveles adecuados de carne resultó fundamental para estabilizar el aporte proteico base, debido a que las proteínas miofibrilares no solo poseen alto valor nutricional, sino que además forman la estructura responsable de retener los demás componentes del sistema. Asimismo, las regiones cercanas al vértice de HQ mostraron niveles proteicos competitivos, lo cual coincide con reportes que indican que la quinua posee una densidad proteica de aproximadamente 12–16 %, contribuyendo a compensar parcialmente la reducción de proteína animal sin provocar disminuciones drásticas en el contenido total (López-Castejón et al., 2020; Thakur et al., 2024).

Además, las proteínas de quinua presentan un perfil de aminoácidos balanceado, con cantidades significativas de lisina, metionina y triptófano, aminoácidos esenciales que suelen ser limitantes en productos cárnicos procesados. Complementariamente, la superficie de respuesta evidenció un incremento del contenido proteico asociado a la interacción favorable entre CC y HQ. La ligera curvatura

observada en la superficie sugirió la existencia de un punto de equilibrio donde las proteínas vegetales de la quinua y los compuestos nitrogenados presentes en la HCP se integraron de manera más eficiente dentro de la red cárnica. No obstante, el incremento observado hacia el vértice de HCP debe interpretarse con cautela, debido a que parte del nitrógeno cuantificado en subproductos vegetales puede provenir de compuestos no proteicos (Damodaran et al., 2017).

En relación con el contenido de fibra, la Figura 3d mostró que HQ presentó el mayor efecto positivo (>0,75) sobre esta variable. Este comportamiento concuerda con estudios que señalan que la quinua posee un contenido considerable de fibra dietética, aportando tanto fracciones solubles como insolubles (Ben Jeddou et al., 2017; Phillips et al., 2021). Aunque HCP también contribuyó al incremento de fibra en las salchichas, su pendiente de incremento fue menos pronunciada, mientras que la interacción HCP*HQ presentó un efecto moderadamente favorable. De forma complementaria, la superficie de respuesta evidenció que el contenido de fibra aumentó progresivamente conforme se incrementó la proporción de HQ y mejoró adicionalmente mediante la interacción HQ*HCP. Según Damodaran et al. (2017), la combinación de distintas fuentes de fibra, como celulosa y hemicelulosa provenientes de HCP junto con pectinas y almidón resistente de HQ, no solo incrementa el contenido analítico de fibra, sino que también favorece las propiedades funcionales del sistema al formar una red polisacárida.

Por último, respecto a la aceptabilidad general, la distribución de contornos permitió identificar las regiones con mayor preferencia sensorial dentro del espacio experimental. La Figura 3e mostró que HQ ejerció el mayor efecto positivo sobre la aceptabilidad general, mientras que la interacción CC*HQ también contribuyó favorablemente a esta variable. Conforme aumentó el porcentaje de HQ dentro de la formulación, se observó una mejora progresiva en la percepción global del producto. Este comportamiento puede atribuirse a que la quinua aportó propiedades funcionales compatibles con la matriz emulsificada,

favoreciendo atributos como textura y estabilidad. Por otro lado, la superficie de respuesta evidenció una disminución gradual de la aceptabilidad sensorial cuando se incrementó la proporción de HCP dentro de la formulación. Este efecto podría relacionarse con la presencia de fibra insoluble y compuestos fenólicos característicos de la cáscara de papa, los cuales pueden modificar la textura, el color y las características organolépticas del embutido cuando se incorporan en niveles elevados.

3.2. Optimización de respuesta del efecto

Los parámetros establecidos para la optimización multirrespuesta se presentan en la Tabla 4, donde se definieron los límites inferiores, valores objetivo y límites superiores para cada variable evaluada. Los criterios establecidos permitieron orientar el proceso de optimización hacia formulaciones con mayores valores de textura, capacidad de retención de agua, contenido de proteína, fibra dietética y aceptabilidad general.

Tabla 4

Parámetros de respuesta considerados

Parámetro	Inferior	Objetivo	Superior
Textura	113,67	155,44	155,44
CRA	30,70	72,33	72,33
Proteína	9,45	12,61	12,61
Fibra	0,48	0,76	0,76
A_G	2,68	3,75	3,75

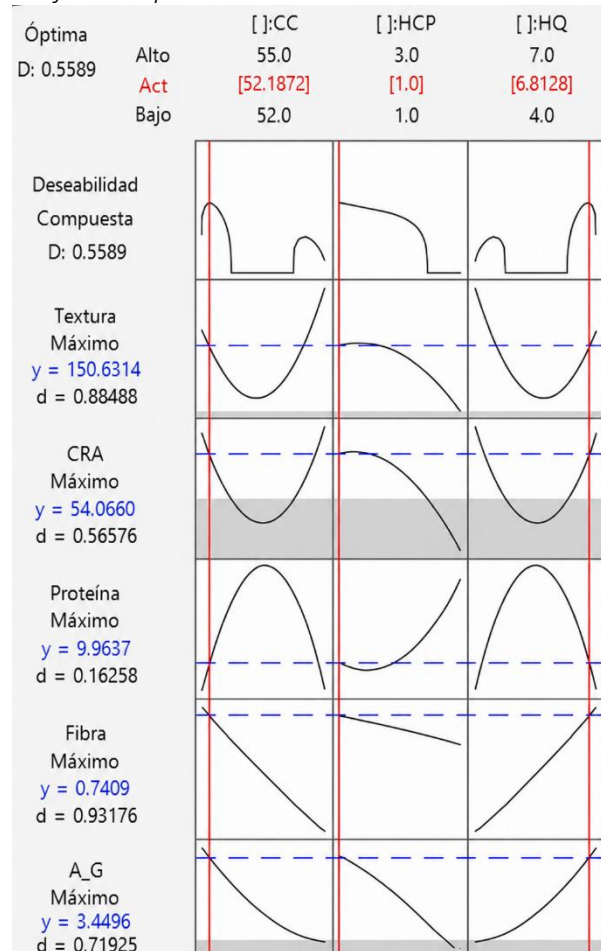
Nota. Todos los parámetros de respuesta fueron definidos bajo un criterio de maximización. La ponderación e importancia asignadas para cada variable fueron iguales a 1.

La formulación optimizada correspondió a 52,19 % de CC, 1,0 % de HCP y 6,81 % de HQ, alcanzando una deseabilidad global de 0,56. La Figura 12 muestra el comportamiento de CC, HCP y HQ respecto a las variables respuesta evaluadas, incluyendo textura, CRA, proteína, fibra y aceptabilidad general. El valor de deseabilidad obtenido indica que la combinación formulada permitió alcanzar un equilibrio aceptable entre las propiedades tecnológicas, fisicoquímicas y sensoriales consideradas en el proceso de optimización. Sin embargo, el incremento de algunas variables, como el contenido de fibra, implicó una disminución parcial en propiedades tecnológicas como CRA y textura, debido a las interacciones generadas entre los componentes de la mezcla. Bajo estas

condiciones, el modelo proyectó los niveles de respuesta correspondientes para las variables evaluadas, evidenciando el potencial de HQ y HCP para su incorporación en salchichas tipo Frankfurt reformuladas.

Figura 4

Gráfica de optimización de la variable



El enriquecimiento de las salchichas con HQ y HCP permitió incrementar el contenido de fibra dietética y mejorar el perfil nutricional del producto, evidenciando el potencial de estos ingredientes como alternativas funcionales en emulsiones cárnicas. Asimismo, el aprovechamiento de HCP representa una estrategia sostenible para la valorización de subproductos agroindustriales y el desarrollo de alimentos con mayor valor agregado.

4. Conclusiones

La incorporación de harina de quinua (HQ) y harina de cáscara de papa (HCP) modificó las propiedades tecnológicas, fisicoquímicas y



sensoriales de las salchichas tipo Frankfurt. La HQ mostró una tendencia favorable sobre la textura, capacidad de retención de agua y contenido proteico, mientras que niveles elevados de HCP tendieron a disminuir la estabilidad estructural y la aceptabilidad sensorial del producto.

La sustitución parcial de CC por HCP y HQ permitió incrementar el contenido de fibra dietaria y proteína total, mejorando el perfil nutricional de las salchichas. Asimismo, la HQ se identificó como el principal factor asociado a la mejora del perfil proteico y al mantenimiento de propiedades tecnológicas adecuadas para productos cárnicos emulsificados.

El análisis de superficie de respuesta evidenció que la aceptabilidad general estuvo condicionada principalmente por la concentración de HCP. Aunque la HQ contribuyó favorablemente a las propiedades sensoriales del producto, niveles de HCP superiores al 1 % disminuyeron la aceptabilidad general, posiblemente debido a alteraciones en el color y otros atributos organolépticos. La formulación optimizada correspondió a 52,19 % de CC, 1,0 % de HCP y 6,81 % de HQ, alcanzando una deseabilidad global de 0,56, lo que evidencia el potencial de la HQ y de niveles moderados de HCP para su incorporación.

Contribución de los autores

W. Trasmonte: Análisis formal, investigación, metodología, administración del proyecto, software, supervisión, validación, visualización, redacción del borrador original, revisión y edición. **A. J. Matos:** Conceptualización, curación de datos, investigación y metodología. **J. P. Godenzi:** Adquisición de fondos, investigación y recursos. **A. L. Ludeña:** Curación de datos, investigación y recursos. **C. E. Alarcón:** Curación de datos, investigación y recursos.

Conflictos de interés

Los autores declaran no presentar conflictos de interés financieros, personales, académicos o profesionales que hayan influido en la realización y publicación del manuscrito.

Agradecimientos

Los autores expresan su agradecimiento a la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga por el financiamiento brindado para la ejecución de esta investigación.

5. Referencias bibliográficas

- Abanto, J. A. (2013). *Efecto de la proporción grasa: harina de quinua (Chenopodium quinoa): carragenina lambda sobre la textura, color y aceptabilidad general de salchicha de pollo tipo Frankfurt* [Tesis de licenciatura, Universidad Privada Antenor Orrego]. Repositorio UPAO. <https://repositorio.upao.edu.pe/item/7b1b96c5-e201-f7ab-e050-010a1c030756>
- Akyol, H., Riciputi, Y., Capanoglu, E., Caboni, M. F., y Verardo, V. (2016). Phenolic compounds in the potato and its byproducts: An overview. *International Journal of Molecular Sciences*, 17(6), E835. <https://doi.org/10.3390/ijms17060835>
- AOAC International. (2016). *Official methods of analysis of AOAC International* (20.ª ed.). AOAC International.
- Araujo-Chapa, A. P., Urías-Orona, V., Niño-Medina, G., Muy-Rangel, D., de la Garza, A. L., y Castro, H. (2023). Dietary fiber from soybean (Glycine max) husk as fat and phosphate replacer in Frankfurter sausage: Effect on the nutritional, physicochemical and nutraceutical quality. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 28(13), 4997. <https://doi.org/10.3390/molecules28134997>
- Barbut, S. (2015). *The science of poultry and meat processing*. University of Guelph. <https://atrium.lib.uoguelph.ca/items/8c161fc1-a18f-4842-9d64-c6e63a15858e>
- Barbut, S. (2024). Measuring water holding capacity in poultry meat. *Poultry Science*, 103(5), 103577.

- <https://doi.org/10.1016/j.psj.2024.103577>
- Bazile, D., Bertero, D., y Nieto, C. (2014). *Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013*. FAO. Santiago de Chile. CIRAD. Montpellier, Francia. [https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cen/docbib/con4_uibd.nsf/987D7E63A6AD525605257E8A005FF4ED/\\$FILE/1_34_Estado_ArteDeLaQuinuaEnElMundoEn2013.pdf](https://www2.congreso.gob.pe/sicr/cen/docbib/con4_uibd.nsf/987D7E63A6AD525605257E8A005FF4ED/$FILE/1_34_Estado_ArteDeLaQuinuaEnElMundoEn2013.pdf)
- Ben Jeddou, K., Bouaziz, F., Zouari-Ellouzi, S., Chaari, F., Ellouz-Chaabouni, S., Ellouz-Ghorbel, R., y Nouri-Ellouz, O. (2017). Improvement of texture and sensory properties of cakes by addition of potato peel powder with high level of dietary fiber and protein. *Food Chemistry*, 217, 668–677. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.081>
- Botella-Martínez, C., Viuda-Martos, M., Pérez-Álvarez, J. A., y Fernández-López, J. (2021). Total and partial fat replacement by gelled emulsion (hemp oil and buckwheat flour) and its impact on the chemical, technological and sensory properties of frankfurters. *Foods (Basel, Switzerland)*, 10(8), 1681. <https://doi.org/10.3390/foods10081681>
- Corado, M. y Escamilla, A. (2017). *Evaluación del potencial de los subproductos de la papa (Solanum tuberosum) y zanahoria (Daucus carota L.) como ingredientes en la panificación. Su análisis bromatológico y sensorial*. [Monografía de pregrado, Universidad Dr. José Matías Delgado]. <http://redicces.org.sv/jspui/bitstream/10972/3705/1/0002687-ADTESCE.pdf>
- Damodaran, S., Parkin, K. L., y Fennema, O. R. (2017). *Fennema's food chemistry* (5.ª ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781315372914>
- Feiner, G. (2006). *Meat products handbook: Practical science and technology*. Woodhead Publishing. <https://ibf.iuh.edu.vn/wp-content/uploads/2020/04/G.-Feiner-Meat-Products-Handbook-Practical-Science-and-Technology-Woodhead-Publishing-in-Food-Science-Technology-and-Nutrition-2006.pdf>
- Food and Agriculture Organization [FAO]. (2008). *Año internacional de la papa 2008. Nueva luz sobre un tesoro enterrado*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. <https://www.fao.org/4/i0500s/i0500s.pdf>
- Kaur, M., Gautam, A., y Harpreet, K. (2022). Nutritional, techno-functional, structural, and rheological properties of potato peel powder: A valuable biowaste being potential source of dietary fiber and antioxidants in cookie formulation. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(11), e17033. <https://doi.org/10.1111/jfpp.17033>
- Kim, M. J., y Chin, K. B. (2025). Evaluation of rheological properties of pork myofibrillar protein gel and physicochemical and textural properties of low-fat model sausages treated with *Rhynchosia nulubilis* powders from different drying methods and their protein extract. *Food Science of Animal Resources*, 45(5), 1415–1430. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2024.e112>
- Lawrie, R. A., y Ledward, D. A. (2014). *Lawrie's meat science* (7.ª ed.). Woodhead Publishing. https://ubblab.weebly.com/uploads/4/7/4/6/47469791/lawries_meat_science.pdf
- López-Castejón, M. L., Bengoechea, C., Díaz-Franco, J., y Carrera, C. (2020). Interfacial and emulsifying properties of quinoa protein concentrates. *Food Biophysics*, 15(1), 122–132. <https://doi.org/10.1007/s11483-019-09603-0>
- Mármol, I., Quero, J., Ibarz, R., Ferreira-Santos, P., Teixeira, J. A., Rocha, C. M. R., Pérez-Fernández, M., García-Juiz, S., Osada, J., Martín-Belloso, O., y Rodríguez-Yoldi, M. J. (2021). Valorization of agro-food by-



- products and their potential therapeutic applications. *Food and Bioprocess Technology*, 128, 247–258. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2021.06.003>
- Mongi, R. J., y Gomezulu, A. D. (2022). Descriptive sensory analysis, consumer acceptability, and conjoint analysis of beef sausages prepared from a pigeon pea protein binder. *Heliyon*, 8(9), e10703. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10703>
- Muchekeza, J. T., Nantanga, K. K. M., Moyo, M., y Itenge, T. O. (2026). Consumer sensory evaluation of fresh, fermented, and emulsion-type sausages formulated with quinoa, amaranth starch, and flours. *Recent Advances in Food, Nutrition & Agriculture*, 17. <https://doi.org/10.2174/012772574X458881260330095343>
- Obando, E. F. (2015). *Determinación de los parámetros tecnológicos para la obtención de la harina de quinua (Chenopodium quinoa) malteada y su aplicación y evaluación de la digestibilidad en mortadela de cerdo* [Tesis de licenciatura, Universidad Católica de Santa María]. Repositorio UCSM. <https://repositorio.ucsm.edu.pe/items/1d2cec28-4b54-4c9c-ab88-8c8b54bc6396>
- Ocampo, O. R., Delgado, S. E. y Gutierrez, P. J. (2015). Harina de cáscara de tuna como fuente de fibra y su efecto sobre las características fisicoquímicas y sensoriales de salchichas bajas en sodio y grasa. *Nacameh* 9(2), 54-65. https://cbs.izt.uam.mx/nacameh/volumenes/v9n2/Nacameh_v9n2_054_Ocampo_et al.pdf
- Ochoa, Q. G. (2023). *Influencia del uso de harina de cultivos andinos melloco blanco (Ullucus tuberosus) y melloco rojo (Iniapuca) en el desarrollo de salchichas tipo Frankfurt* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/39305>
- Paglarini, C. de S., Martini, S., y Pollonio, M. A. R. (2019). Using emulsion gels made with sonicated soy protein isolate dispersions to replace fat in frankfurters. *Lebensmittel-Wissenschaft Und Technologie [Food Science and Technology]*, 99, 453–459. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.10.005>
- Paltrinieri, G. (1985). *Manuales para Educación Agropecuaria, Taller de Carne*, Editorial Trillas. México. <https://biblioteca.uteg.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=8387>
- Phillips, K. M., McGinty, R. C., Couture, G., Pehrsson, P. R., McKillop, K., y Fukagawa, N. K. (2021). Dietary fiber, starch, and sugars in bananas at different stages of ripeness in the retail market. *PLoS One*, 16(7), e0253366. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0253366>
- Ramos Payán, M. D., Bello López, M. Á., Fernández Torres, R. M., Ocaña González, J. A., Fernández Espinosa, A. J., y Jiménez Palacios, F. J. (2023). *Determinación de proteínas en galleta por el método Kjeldahl*. Portal de Vídeo Didáctico de la Universidad de Sevilla. <https://doi.org/10.35466/vid2023n7448>
- Ramos, D., San Martín, V., Rebatta, M., Arbaiza, T., Salva, B., Caro, I., y Mateo, J. (2014). Características fisicoquímicas de la salchicha de cerdo del departamento de Tumbes, Perú. *Salud tecnol. vet.* 2 120-128. <https://revistas.upch.edu.pe/index.php/STV/article/view/2249/2220>
- Schiassi, M. C. E. V., Salgado, D. L., Meirelles, B. S., Lago, A. M. T., Queiroz, F., Curi, P. N., Pio, R., y de Souza, V. R. (2019). Berry jelly: Optimization through desirability-based mixture design. *Journal of Food Science*, 84(6), 1522–1528.

- <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14634>
- Shin, S.-H., y Choi, W.-S. (2021). Variation in significant difference of sausage textural parameters measured by texture profile analysis (TPA) under changing measurement conditions. *Food Science of Animal Resources*, 41(4), 739–747. <https://doi.org/10.5851/kosfa.2021.e26>
- Szmańko, T., Lesiów, T., y Górecka, J. (2021). The water-holding capacity of meat: A reference analytical method. *Food Chemistry*, 357(129727), 129727. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129727>
- Thakur, D., Bareen, M. A., Sahu, J. K., y Shah, S. (2024). Effect of high-pressure treatment and germination on the functional, rheological, and microstructural characteristics of red quinoa (*Chenopodium quinoa*) gels. *Food Hydrocolloids*, 155(110172), Not Available. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110172>
- Toldrá, F. (Ed.). (2010). *Handbook of meat processing*. Wiley-Blackwell. https://ubblab.weebly.com/uploads/4/7/4/6/47469791/handbook_of_meat_processing.pdf
- Vega, N. P. (2020). *Propiedades químicas, físicas y tecnofuncionales de la cáscara de papa (Solanum tuberosum) para uso como extensor en productos cárnicos frescos picados* [Tesis de pregrado, Escuela Agrícola Panamericana]. <https://bdigital.zamorano.edu/items/e2cd9f48-1c2a-4058-a14f-0e04c5dbf5c3>
- Vivar-Vera, M. de L. A., Pérez-Silva, A., Ruiz-López, I. I., Hernández-Cázares, A. S., Solano-Barrera, S., Ruiz-Espinosa, H., Bernardino-Nicanor, A., y González-Cruz, L. (2018). Chemical, physical and sensory properties of Vienna sausages formulated with a starfruit dietary fiber concentrate. *Journal of Food Science and Technology*, 55(8), 3303–3313. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3265-0>
- Wang, L., Dong, J.-L., Zhu, Y.-Y., Shen, R.-L., Wu, L.-G., y Zhang, K.-Y. (2021). Effects of microwave heating, steaming, boiling and baking on the structure and functional properties of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) protein isolates. *International Journal of Food Science & Technology*, 56(2), 709–720. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14706>
- Yadav, S., Pathera, A. K., Islam, R. U., Malik, A. K., y 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>
- Zuñiga-Martínez, B. S., Domínguez-Avila, J. A., Robles-Sánchez, R. M., Ayala-Zavala, J. F., Villegas-Ochoa, M. A., y González-Aguilar, G. A. (2022). Agro-industrial fruit byproducts as health-promoting ingredients used to supplement baked food products. *Foods (Basel, Switzerland)*, 11(20), 3181. <https://doi.org/10.3390/foods11203181>