

Optimización de la formulación de cabanossi con carne de llama (*Lama glama*) y papa (*Solanum tuberosum*) mediante el diseño de mezclas

Formulation optimization of cabanossi made with Lama meat (*Lama glama*) and potato (*Solanum tuberosum*) using mixture design method

Miriam Ramos Ramírez^{1*}, Oscar Jordán Suárez², Marcial Silva Jaimes³, Bettit Salvá Ruiz³

¹Facultad de Ciencias Agrarias - Universidad Nacional Hermilio Valdizán - Perú

²Facultad de Ciencia de Alimentos - Universidad Le Cordon Bleu - Perú

³Facultad de Industrias Alimentarias – Universidad Nacional Agraria La Molina- Lima - Perú

*Autor para correspondencia, e-mail: ramosmiri@yahoo.es

Miriam Ramos Ramírez  <https://orcid.org/0000-0002-8420-6262>

Oscar Jordán Suárez  <https://orcid.org/0000-0002-1280-7704>

Marcial Silva Jaimes  <https://orcid.org/0000-0002-4648-4907>

Bettit Salvá Ruiz  <https://orcid.org/0000-0001-5383-0890>

ARTÍCULO ORIGINAL

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Artículo recibido: 08/08/2018

Artículo aceptado: 31/12/2018

En línea: 26/02/2019

PALABRA CLAVE:

Llama,
sustitución de grasa,
análisis perfil de textura,
diseño de mezclas,
salchichas secas
fermentadas

ORIGINAL ARTICLE

ARTICLE INFORMATION

Article received: 08/08/2018

Article accepted: 31/12/2018

On line: 26/02/2019

KEYWORD:

Lama,
fat replacement,
texture profile analysis,
mixture design,
dry fermented sausages.

RESUMEN

El estudio tuvo como objetivo optimizar la formulación de cabanossi bajo en grasa, empleando el método de Diseño de Mezclas (D-Optimal) a partir de 16 formulaciones de cabanossi compuestas por carne de llama (60-80%), grasa de cerdo (10-20%) y pulpa de papa cocida (10-20%). Las variables respuestas fueron: el perfil de textura (cohesividad, masticabilidad, dureza, gomosidad y elasticidad), croma (C*), humedad, rendimiento, actividad de agua y pH. Para la optimización de la formulación se consideró minimizar la grasa de cerdo, manteniendo la dureza y humedad semejantes a un cabanossi comercial. El análisis del diseño de mezclas planteó la formulación con las siguientes proporciones: carne de llama (72.41%), grasa de cerdo (10.78%) y pulpa de papa cocida (16.81%), con una deseabilidad de 0.84; formulación que fue validada a través de un proceso experimental, y contrastada por la prueba t de Student, confirmando la efectividad en la predicción del modelo matemático obtenido.

ABSTRACT

The objective of this study was to optimize the formulation of low-fat cabanossi using the Mix Design method (D-Optimal) from 16 cabanossi formulations composed of Lama glama meat (60-80%), pork fat (10-20%) and cooked potato pulp (10-20%). The response variables were: a texture profile analysis (cohesiveness, chewiness, hardness, gumminess and springiness), chroma (C*), moisture, yield, water activity and pH. For the optimization stage, it was considered minimizing the pork fat, maintaining the hardness and humidity as similar as to those in a commercial cabanossi. The mixture design analysis set up the formulation with 72.41% of llama meat, 10.78% pork fat and 16.81% cooked potato pulp as the optimum, with 0.84 of desirability. This formulation was validated through the experimental process and contrasted by the t-Student test. It confirmed the effectiveness in the prediction of the mathematical model obtained.

I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe un elevado interés en el consumo de alimentos más saludables que mantengan un equilibrio nutricional. En este contexto, la percepción de la carne y productos cárnicos por los consumidores es relativamente negativa, ya que se asocia a enfermedades crónicas tales como obesidad, diabetes, enfermedades cardiovasculares y tipos de cánceres (Beriain, Gómez, Ibañez, Sarriés, & Ordóñez, 2018), atribuido a la presencia de grasa, colesterol, cloruro de sodio y nitritos (Zhang, Xiao, Samaraweera, Lee, & Ahn, 2010). Sin embargo, la carne y sus derivados, constituyen una fuente importante de proteínas de alto valor biológico, vitaminas del grupo B, minerales y oligoelementos, así como compuestos bioactivos (Toldrá & Reig, 2011).

La carne de camélidos sudamericanos como la llama y alpaca se presentan como una alternativa de mejora socioeconómica de los productores de pequeña escala, gracias a la amplia variedad de opciones, flexibilidad en la crianza y la demanda de los productos (Esperbent, 2017). Estos recursos destacan por presentar un bajo nivel de grasa (0,49-1.56%) y colesterol (39.04-56.29 mg/ 100 g), en comparación a la carne de especies tradicionales (Cristofanelli, Antonini, Torres, Polidori, & Renieri, 2004; Mamani-Linares & Gallo, 2013; Salvá, Zumalacárregui, Figueira, Osorio, & Mateo, 2009). La llama proporciona carcasas de mayor tamaño en relación a la alpaca (Cristofanelli et al., 2004), como también su carne constituye una alternativa potencial para la industria cárnica en países andinos, al igual que su costo viene a ser competitivo e adecuado, al tiempo que induciría a mejorar proceso de planeación, evaluación y control de las operaciones de las empresas (Arellano, Quispe, Ayaviri, & Escobar, 2017).

Debido a sus características sensoriales y tecnológicas, la carne de llama puede ser utilizada para la elaboración de cabanossi, el cual es una

salchicha seca madurada proveniente de una mezcla de carne, grasa, agua, aditivos y especies, embutida en tripas naturales o industriales, seguida de una maduración (corta y/o larga), tratada térmicamente y opcionalmente ahumada (Cobos & Díaz, 2015; Roca & Incze, 1990). Este producto cárnico representa una buena fuente de proteínas, el cual es consumido como piqueos en eventos sociales y empleado en la preparación de diversos potajes por sus características típicas de pungencia; sin embargo, su elevado contenido de grasa implica la búsqueda de estrategias para su reducción, dentro de las cuales figura la incorporación de sustitutos y simuladores de grasa que presenten un efecto tecnofuncional positivo y acorde a la tendencia de alimentación saludable. La fibra dietaria se utiliza como simulante de grasa en productos cárnicos por sus propiedades tecnológicas y funcionales (Bengtsson, Montelius, & Tornberg, 2011; Beriain et al., 2018; Ospina-E, Sierra-C, Ochoa, Pérez-Álvarez, & Fernández-López, 2012), la cual se encuentra en la pulpa de papa cocida (Bengtsson et al., 2011), que contiene carbohidratos fermentables que favorecieron la estabilidad del cabanossi de alpaca (Saavedra, 2014).

En el diseño y desarrollo de productos se viene empleando el método de diseño de mezclas para el cálculo de proporciones de los elementos que conforman un alimento; siendo de mucha importancia en situaciones industriales que involucran formulaciones o mezclas como método alternativo para estandarizar procesos productivos (Puente, Romero, Rodríguez & Trejo, 2015). Con esta metodología se logra optimizar combinaciones de ingredientes, proporcionando un ahorro de recursos en comparación con los enfoques clásicos (Zhou, Liu, Huang, Dong, & Jiang, 2007). Previo a ello, deben definirse variables respuesta con efecto significativo para la mejora del producto, lo que se logra determinando las proporciones adecuadas de sus componentes.

Por lo expuesto, se planteó como objetivo optimizar la formulación de cabanossi bajo en grasa con carne

de llama y papa a través del diseño de mezclas por D-Optimal manteniendo características de calidad.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo durante noviembre 2016 - abril 2017. Se empleó carne de llama procedente de Ninacaca (Cerro de Pasco), grasa dura de cerdo y pulpa de papa cocida variedad peruanita. Además, se utilizó: agua 3.35%, glutamato monosódico 0.33%, pimentón dulce 0.46%, ajo en polvo 0.58%, pimienta blanca 0,66%, salsa de aji 2.73%, comino y nuez moscada 0.11%, fosfatos 0.22% y sal 0.69%. Asimismo, se utilizó Biosin Plus 18697 (2 g/Kg masa), colorante carmín (1 g/Kg masa) y humo líquido (0.5 g/ Kg de masa) procedentes de Frutarom Ltd.

El cabanossi fue elaborado en la planta piloto de la FIAL-UNALM de acuerdo al flujo de operaciones (Figura 1), que inicia con la recepción de materia prima (carne, grasa dura de cerdo y pulpa de papa cocida), seguido del acondicionamiento, curado (carne), molienda (moledora de fabricación nacional), mezclado (mezcladora Mainca), embutido (embutidora Boxa) en tripas de colágeno calibre 17 madurado a 22°C y 80% H.R. por 12 a 24 h (en cámara climatizada Binder), secado a 50-55°C por 2 h, 60°C por 19 h y 39 min y tratamiento térmico a 80°C por 30 min (en secador de bandejas Rete: Industrias Fraclen) de acuerdo a las recomendaciones de Elias (2002) y Fernández-López et al. (2008), empacado al vacío (envasadora KOMET) y almacenamiento de 3 a 5°C (en cámara de refrigeración Cimmsa-Condaire).

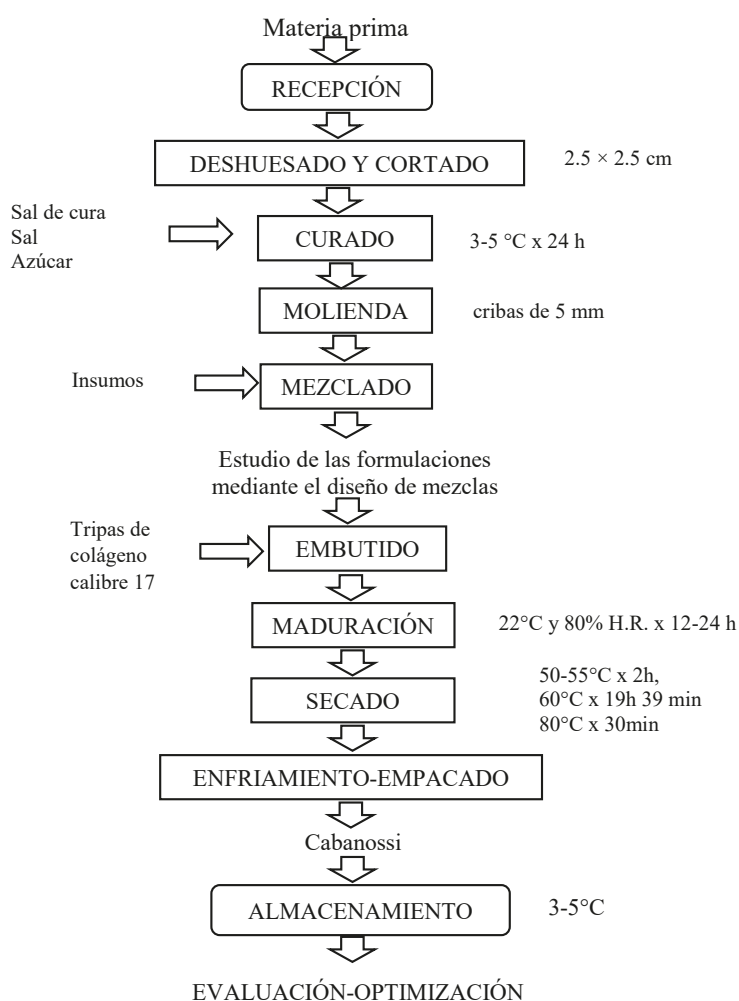


Figura 1: Flujo de operaciones en la elaboración de cabanossi.

Los análisis se efectuaron a las 24 h de elaborado el producto por cada formulación. Los análisis de humedad, pH y grasa se realizaron según el método de la AOAC (2006). Se analizó el color externo con un colorímetro Konica Minolta CR 410 (Tyburcy & Kozyra, 2010) empleando los parámetros L^* , a^* , b^* y C^* del sistema CIELab (donde L^* está relacionado a la luminosidad, a^* es relativo al rojo, b^* al color amarillo, y C^* a la cromaticidad). La actividad de agua (Aw) se evaluó de acuerdo a recomendaciones de Triki, Herrero, Rodríguez-Salas, Jiménez-Colmenero, & Ruiz-Capillas (2013).

El análisis del perfil de textura (TPA), se realizó con un texturómetro Instron 3365, para lo cual las muestras fueron cortadas en 15 mm de longitud. Se usó una sonda cilíndrica de 57 mm de diámetro y 7 mm de altura, una celda de carga de 25 g_f a una velocidad de 1mm/s, y doble compresión hasta el 50% de la altura inicial (Mora-Gallego et al., 2013).

Para el análisis del diseño de mezclas D-optimal se utilizó el software Design-Expert® versión 10, teniendo en cuenta las restricciones de los componentes principales: grasa (10 a 20 %), pulpa de papa cocida (10 a 20 %) y carne de llama (60 a 80 %), y manteniendo constante la proporción de los demás insumos. Las variables respuestas fueron: humedad (%), croma, rendimiento (%), actividad de agua, pH y el análisis de perfil de textura: dureza (N), cohesividad (adimensional), elasticidad (adimensional), gomosidad (N) y masticabilidad (N). Siendo la dureza la fuerza máxima requerida para comprimir la muestra; la cohesividad es la medida en que la muestra podría deformarse antes de la ruptura (A_2/A_1), donde A_1 y A_2 es la energía total requerida para la primera y segunda compresión, respectivamente; elasticidad es la capacidad de la muestra para recuperar su forma original al dejar de aplicar la fuerza de deformación;

gomosidad es la fuerza para desintegrar una muestra de carne semisólida para un estado estable de deglución (dureza x cohesividad); masticabilidad es el trabajo al masticar la muestra para engullir (elasticidad x gomosidad). La formulación óptima fue desarrollada experimentalmente y contrastada con la predicción del modelo matemático mediante la prueba de t de Student en función a la humedad, dureza, rendimiento y actividad de agua. Para evaluar y seleccionar el mejor modelo ajustado se utilizaron el coeficiente (R^2), coeficiente de determinación ajustado (R^2 ajustado), coeficiente de determinación pronosticado (R^2 predicho), coeficiente de variación (CV), desviación estándar, suma residual de cuadrados predicha (PRESS), falta de ajuste y datos de regresión (Valores p y F) de acuerdo a las recomendaciones de Mohamad Zen, Abd Gani, Shamsudin, & Fard Masoumi (2015).

Para el estudio de muestras comerciales se utilizaron cinco marcas diferentes de cabanossi comercializados en Lima Metropolitana y se aplicó un diseño completamente al azar, seguido de un análisis de varianza y la prueba de Tukey al 95 % de confianza. Los datos se analizaron por el software Statgraphics centurión XVIII con al menos tres réplicas.

III. RESULTADOS

Estudio de las formulaciones

En la (Tabla 1) se muestran los resultados de humedad (26.95 ± 0.79 a $45.3 \pm 1.09\%$), croma (11.0 ± 0.35 a 17.14 ± 0.42), rendimiento (38.98 a 57.51%), actividad de agua (0.78 ± 0.00 a 0.92 ± 0.01) y pH (5.08 ± 0.02 a 6.28 ± 0.01) de 16 formulaciones con distintas proporciones de grasa, pulpa de papa cocida y carne de llama, obtenidas con el diseño de mezclas D-optimal, variabilidad atribuida a la formulación.

Tabla 1. Formulaciones con distintas proporciones de carne de llama, grasa de cerdo, papa y sus valores de humedad, croma, rendimiento, actividad de agua y pH

Fórmulas	Grasa (%)	Papa (%)	Carne (%)	Humedad (%)	Croma	Rendimiento (%)	Actividad de agua	pH
F1	19.99	20.00	60.01	38.62±1.52	15.41±1.23	51.56	0.87±0.00	6.27±0.01
F2	20.00	10.90	69.10	42.78±0.42	17.14±0.42	57.51	0.90±0.01	6.28±0.01
F3	10.00	10.00	80.00	28.45±0.45	13.99±0.00	43.24	0.81±0.01	6.20±0.04
F4	14.17	15.15	70.67	41.15±1.17	11.78±0.09	50.91	0.88±0.01	6.28±0.01
F5	16.01	10.00	73.99	27.15±1.10	13.21±0.4	44.29	0.80±0.00	5.98±0.00
F6	10.54	20.00	69.46	27.57±0.60	14.07±0.82	40.56	0.78±0.00	5.75±0.01
F7	19.28	15.81	64.91	31.07±0.68	13.33±0.17	49.32	0.86±0.01	5.69±0.01
F8	10.00	14.51	75.49	26.95±0.79	12.02±0.45	42.18	0.79±0.01	5.77±0.01
F9	14.85	20.00	65.15	28.81±0.40	12.71±0.68	43.77	0.81±0.01	5.81±0.01
F10	12.83	10.38	76.78	27.29±0.72	12.90±0.98	42.26	0.80±0.01	5.92±0.00
F11	10.72	16.99	72.29	27.10±0.51	14.31±0.30	40.64	0.79±0.00	5.73±0.01
F12	19.99	20.00	60.01	33.51±1.84	12.03±0.36	48.02	0.89±0.02	5.08±0.02
F13	20.00	10.90	69.10	41.19±0.56	14.08±1.14	54.49	0.92±0.01	5.72±0.01
F14	10.54	20.00	69.46	30.40±0.89	12.07±0.55	41.46	0.80±0.00	5.36±0.00
F15	10.00	10.00	80.00	29.12±0.76	13.79±0.19	38.98	0.78±0.00	5.55±0.03
F16	14.17	15.15	70.67	45.30±1.09	11.00±0.35	51.15	0.88±0.00	5.67±0.01

Debido a la escasa información de productos semejantes al elaborado en este estudio, se realizaron

las caracterizaciones de cabanossi comercializados en los mercados de Lima Metropolitana (Tabla 2).

Tabla 2. Resultados de análisis fisicoquímicos en muestras comerciales de cabanossi.

Características	Marcas comerciales				
	MC1	MC2	MC3	MC4	MC5
Humedad (%)	31.46±0.92 ^c	31.16±1.30 ^c	52.63±0.47 ^a	30.97±0.20 ^c	39.69 ± 0.25 ^b
Grasa* (%)	26.04± 0.18 ^a	20.51± 0.14 ^c	19.87± 0.17 ^d	26.39 ± 0.02 ^a	24.56± 0.18 ^b
pH	5.25±0.01 ^d	5.11± 0.00 ^e	6.47± 0.00 ^a	5.96± 0.01 ^c	6.42± 0.00 ^b
Actividad de agua	0.85 ± 0.00 ^d	0.86 ± 0.00 ^c	0.96± 0.00 ^a	0.86± 0.00 ^c	0.90±0.00 ^b
L*	23.06±0.71 ^c	15.79±1.57 ^d	38.21±0.67 ^a	31.91±1.92 ^b	34.27±0.36 ^b
a*	10.67±0.56 ^c	8.05±0.37 ^d	23.14±1.38 ^a	8.14±0.71 ^d	13.36±0.75 ^b
b*	8.62±0.35 ^a	7.43±0.54 ^a	7.77±1.18 ^a	3.01±0.43 ^b	1.10±0.05 ^c
C*	13.73±0.4 ^b	10.95±0.61 ^{cd}	24.42±1.68 ^a	8.68±0.81 ^d	13.41±0.75 ^{bc}
Dureza (N)	60.64±7.55 ^b	82.03±5.67 ^a	34.95±3.02 ^c	59.74±7.83 ^b	54.99±6.53 ^b
Cohesividad	0.35±0.01 ^d	0.34±0.02 ^d	0.61±0.02 ^a	0.43±0.01 ^c	0.55±0.02 ^b
Elasticidad	0.45±0.02 ^d	0.48±0.03 ^d	0.94±0.01 ^a	0.60±0.02 ^c	0.89±0.02 ^b
Gomosidad (N)	20.76±2.11 ^c	27.42±1.12 ^{ab}	21.15±1.35 ^c	25.30±2.47 ^b	30.40±2.84 ^a
Masticabilidad (N)	9.37±0.69 ^d	13.11±0.96 ^c	19.88±1.31 ^b	15.28±1.28 ^c	27.13±2.36 ^a

Nota: El TPA se realizó seis veces.

^{a,b} Promedios en filas para los productos con diferentes superíndices indican que difieren significativamente ($p < 0,05$)

El análisis de perfil de textura (Tabla 3) evidencia una variación en los parámetros de dureza (40.7 ± 4.76 a 190.58 ± 18.89 N); cohesividad ($0.32 \pm$

0.01 a 0.46 ± 0.02); elasticidad (0.63 ± 0.02 a 0.81 ± 0.02); gomosidad (16.71 ± 3.48 a 68.46 ± 4.21 N) y masticabilidad (10.6 ± 1.20 a 52.32 ± 4.13 N).

Tabla 3. Análisis de perfil de textura de cabanossi con carne de llama.

Fórmulas	Dureza (N)	Cohesividad (adimensional)	Elasticidad (adimensional)	Gomosidad (N)	Masticabilidad (N)
1	46.21±5.78	0.41±0.03	0.75±0.03	18.66±1.95	13.98±1.50
2	40.70±4.76	0.44±0.01	0.81±0.02	18.06±1.89	14.58±1.75
3	143.88±20.42	0.44±0.03	0.73±0.04	63.33±9.08	46.38±3.58
4	82.44±5.97	0.46±0.02	0.79±0.02	40.61±2.09	29.94±2.08
5	158.77±17.24	0.36±0.02	0.73±0.02	56.99±6.01	41.46±4.28
6	151.14±16.84	0.34±0.01	0.67±0.04	45.68±2.53	33.88±3.18
7	77.44±9.34	0.37±0.01	0.68±0.03	28.80±3.89	19.37±2.46
8	134.00±15.54	0.36±0.01	0.69±0.03	48.75±5.26	33.60±4.28
9	110.62±11.83	0.37±0.02	0.69±0.02	41.20±4.76	28.44±3.08
10	188.59±23.92	0.39±0.02	0.72±0.04	68.46±4.21	52.32±4.13
11	147.45±17.82	0.37±0.01	0.68±0.03	46.04±2.07	37.29±4.62
12	50.28±5.04	0.33±0.06	0.64±0.07	16.76±3.07	10.60±1.20
13	45.53±5.44	0.37±0.04	0.73±0.02	16.71±3.48	12.05±2.18
14	138.86±16.49	0.32±0.01	0.66±0.05	44.06±3.65	29.28±4.75
15	190.58±18.89	0.32±0.01	0.63±0.02	60.15±5.33	37.62±3.59
16	76.10±8.92	0.40±0.05	0.74±0.03	41.69±5.32	22.65±3.55

Nota: El TPA se realizó seis veces.

El efecto simultáneo de los componentes principales de la mezcla: grasa (A), pulpa de papa cocida (B) y carne de llama (C) en las 16 formulaciones estudiadas, fue evaluado estadísticamente, resultando significativas la humedad (%), dureza (N), rendimiento (%), actividad de agua, gomosisidad (N) y masticabilidad (N). Se obtuvo un ajuste al

modelo especial cuártico, omitiendo la gomosisidad y masticabilidad para efectos de optimización (Tabla 4), lo cual conducía a un incremento de la proporción de grasa para simular características del patrón comercial. Por otra parte, el croma, pH, cohesividad y elasticidad no resultaron significativos.

Tabla 4. Resultados del análisis de varianza para humedad, dureza, rendimiento y actividad de agua.

Parámetros estadísticos	Humedad	Dureza	Rendimiento	Actividad de agua
Modelo	*	*	*	*
R ²	0.9262	0.9459	0.9343	0.9568
R ² ajustado	0.8418	0.8840	0.8593	0.9075
R ² predicho	-0.2196	0.3852	-0.1300	0.1045W
Valor p	0.0025	0.0009	0.0017	0.0004
Valor F	10.98	15.29	12.45W	19.39
C.V%	7.92	15.83	4.55	1.77
Falta de ajuste	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Desviación estándar	2.61	17.64	2.10	0.015
PRESS	784.97	24733.81	533.74	0.032

Significativo: * (p<0,05); no significativo: n.s. (p>0,05)

Optimización simultánea de variables respuesta

Luego de obtener los modelos matemáticos para cada una de las respuestas estudiadas, los

valores observados de las variables significativas consideradas en la optimización, fueron sometidos al análisis de región múltiple, con el cual el modelo se ajustó a una ecuación especial cuártico:

Humedad.

$$\hat{y} = +117.04*A + 39.75*B + 28.96*C - 169.22*AB - 134.48*AC - 39.90*BC - 971.62 A^2BC - 40.15*AB^2C + 1844.02*ABC^2 \tag{1}$$

Dureza.

$$\hat{y} = -700.72*A + 348.70*B + 167.02*C + 896.73*AB + 1219.46*AC - 330.69*BC + 8268.26A^2BC - 5851.68AB^2C - 6142.56ABC^2 \tag{2}$$

Rendimiento.

$$\hat{y} = +111.26*A + 32.20*B + 41.30*C - 87.73*AB - 84.48*AC + 6.23*BC - 553.75A^2BC + 159.43*AB^2C + 818.43*ABC^2 \tag{3}$$

Actividad de agua.

$$\hat{y} = +1.40*A + 0.78*B + 0.80*C - 0.84*AB - 0.82*AC - 0.093*BC - 4.23*A^2BC - 0.16*AB^2C + 8.84*ABC^2 \tag{4}$$

Donde \hat{y} representa el valor de cada una de las variables significativas de la mezcla de componentes estimada, mientras que A, B y C corresponden a los porcentajes de grasa dura, pulpa de papa cocida y carne de llama, respectivamente.

Para la optimización se consideró que lo importante es minimizar grasa, que la humedad y dureza sean igual al cabanossi comercial, que el rendimiento y actividad de agua se encuentren dentro del rango propuesto, de tal forma que sea similar a los productos comerciales (Tabla 5).

Tabla 5. Parámetros para obtener la fórmula optimizada.

Variable	Objetivo	Límite Inferior	Límite Superior
Grasa	Minimizar	10	20
Papa	En rango	10	20
Carne	En rango	60	80
Humedad (%)	Objetivo= 31.16	26.95	45.30
Dureza (N)	Objetivo = 82.04	40.70	190.58
Rendimiento (%)	En rango	38.98	57.51
Actividad de agua	En rango	0.78	0.92

El análisis estadístico obtuvo seis soluciones, siendo la fórmula óptima conformada por 72.41% de carne de llama, 16.81% de papa cocida y 10.78% de grasa, que cumplió con el objetivo de reducción de grasa alcanzando una deseabilidad global de 0.84. En la (Figura 2 y 3) se muestran la superficie de respuesta y la gráfica del punto óptimo con mayor deseabilidad obtenido en el análisis.

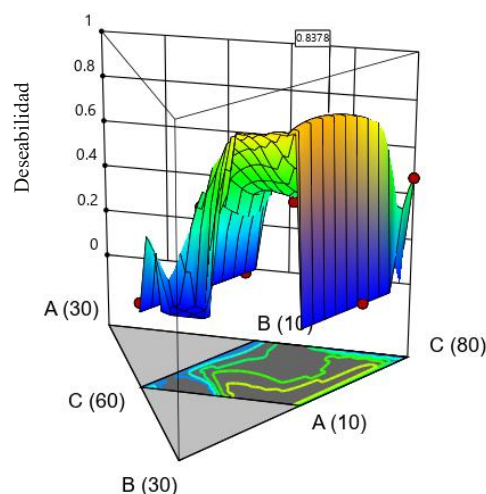


Figura 2: Superficie de respuesta de la deseabilidad de la mezcla óptima.

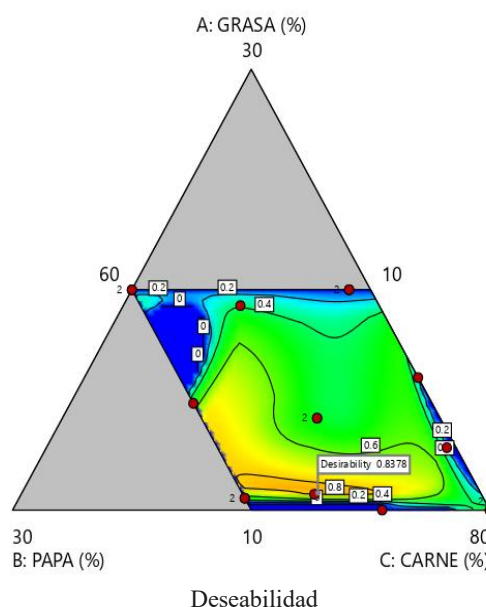


Figura 3: Deseabilidad y punto óptimo de los componentes.

Validación de la fórmula óptima

En la (Tabla 6) se contrasta los valores predictivos y experimentales promedio admitidos por el modelo que evidencia la validación del proceso de acuerdo con el análisis estadístico, sin encontrar diferencias estadísticas ($p \geq 0.05$) entre los valores experimentales y los predictivos.

Tabla 6. Rangos de validación de las variables respuesta en el punto óptimo.

Respuesta	Valores predictivos	Valores experimentales	Significancia
Humedad (%)	31.16 ± 2.61	30.97 ± 1.29	n.s.
Dureza (N)	121.33 ± 17.64	123.75 ± 11.03	n.s.
Rendimiento (%)	43.50 ± 2.10	46.53 ± 1.19	n.s.
Actividad de agua	0.81 ± 0.01	0.85 ± 0.01	n.s.

No significativo: n.s. ($p > 0.05$)

IV. DISCUSIÓN

Los valores de humedad encontrados (Tabla 1), están comprendidos en el rango de 25 a 50%, correspondientes a clasificaciones distintas de salchichas (secas y semi secas). Estos resultados se encontraron próximos a un estudio con salchichas elaboradas empleando cáscara de tomate en polvo, como sustituto de grasa y fuente de fibra dietética, en el cual se determinó su influencia en la capacidad de retención de agua, revelando menor cantidad de agua libre a menor grasa en la formulación (Wang et al., 2017). De la misma forma, Saavedra (2014) encontró en un cabanossi con carne de alpaca e inclusión de papa al 30% y cabanossi tradicional, contenidos de humedad mayores al 40%; sin embargo, Swanepoel, Leslie, & Hoffman (2016) encontraron porcentajes superiores ($\approx 60\%$) para un cabanossi con carne de jabalí y cerdo; a su vez, Tyburcy & Kozyra (2010) reportaron contenidos elevados de éste atributo (45%) en cabanossi comercial del mercado polaco; por el contrario, Fernández-Diez et al. (2016) encontraron valores de humedad inferiores a 26%. Estos estudios evidencian que la variabilidad en la humedad está

en función de las condiciones tecnológicas (secado, ahumado, maduración, etc.), así como a patrones de consumo.

Los porcentajes de humedad obtenidos en éste estudio (Tabla 1), se encuentran próximos a los rangos de las muestras comerciales (30.97 a 52.63%), lo cual se relaciona al contenido de actividad de agua y evidencian una variabilidad atribuida a las proporciones de componentes principales de la formulación, así como al tipo de carne, insumos utilizados y parámetros propios del proceso que originan pérdidas de humedad (Lorenzo & Franco, 2012; Utrilla, Ruiz, & Soriano, 2014).

Igualmente, el tenor de grasa en los productos comerciales (Tabla 2) fluctuó de 19.87 ± 0.17 a $26.39 \pm 0.02\%$. Los productos cárnicos tradicionales contribuyen a la ingesta de grasas y sal en los consumidores; no obstante, exceden los niveles recomendados por la Organización Mundial de la Salud (Bolger, Brunton, Lyng, & Monahan, 2016). Por ello, en los últimos años se viene experimentando un incremento en el desarrollo y comercialización de productos cárnicos reducidos y libres de grasa empleando sustitutos con actividad tecnofuncional (Berriain et al., 2018).

En cuanto al rendimiento de producto en función a la masa inicial (Tabla 1), no se han encontrado antecedentes; sin embargo, algunos autores reportan pérdidas durante el ahumado, por ejemplo, Saavedra (2014) reportó 59 y 62% en cabanossi de alpaca con sustitución de grasa y cabanossi tradicional, respectivamente. Por el contrario, Elías (2002) registró pérdidas de 24.3 a 36.3% posterior al ahumado de cabanossi con incorporación de harina texturizada de soya hidratada. Esta variabilidad es atribuida a factores indicados anteriormente, como la formulación y tecnología. Al respecto Flores, Olivares, & Corral (2013) sugieren regular las pérdidas de humedad, con un control en el proceso de secado para evitar problemas en la superficie de embutidos curados secos bajos en grasa.

Los valores de actividad de agua y pH (Tabla 1) fueron similares a otros estudios (Carrapiso, Martín-Cabello, Torrado-Serrano, & Martín, 2015; Fonseca, Cachaldora, Gómez, Franco, & Carballo, 2013); asimismo, estos indicadores guardan relación con la humedad del producto final, materia prima e insumos, inoculación de bacterias acidolácticas, proceso de maduración-secado y pH de la carne.

Referente al croma (Tablas 1 y 2), se evidenció una gama de colores inherente a cada marca comercial. De igual manera, en salchichas secas y curadas con sustituciones de 50 y 85% de grasa animal por quinua cocida, se calculó un croma de 8.44 a 12.15, respectivamente, en comparación al croma de una salchicha con 30% de grasa (9.68) (Fernández-Diez et al. 2016). Estudios reportaron que el croma tiende a disminuir durante el almacenamiento del producto, debido a la desnaturalización de la mioglobina con una reducción del enrojecimiento asociado a la coordenada a^* (Özkal & Ercoşkun, 2016).

En la (Tabla 3), se observa que las formulaciones elaboradas se encuentran dentro de los rangos del cabanossi comercial en cohesividad (0.34 a 0.61) y elasticidad (0.45 a 0.94) y con variaciones en la dureza (34.95 a 82.03 N), gomosidad (20.76 a 30.40 N) y masticabilidad (9.37 a 27.13 N). Mejri et al. (2016) reportaron aumento en la dureza, gomosidad y masticabilidad de salchichas secas tradicionales con carne de camello (75% de carne/25% grasa de joroba) con y sin inoculación de cultivos iniciadores al final del proceso de maduración, independientemente del tipo de salchicha, mientras la elasticidad y cohesividad permanecieron sin mucha variación. El aumento de la firmeza, está asociado a la fibra insoluble y formación de una red fibrosa que incide en la textura de la salchicha (Bengtsson et al., 2011).

Por otro lado, Saavedra (2014) registró para un cabanossi con carne de alpaca e inclusión de papa al 30%, valores cercanos en la dureza (92.72 ± 13.96 N) y gomosidad (15.68 ± 1.12 N) pero inferiores en cohesividad (0.17 ± 0.01); mientras que un cabanossi

tradicional elaborado con 30% de grasa, presentó una dureza alrededor de 77.57 ± 3.65 N y menores valores en cohesividad (0.14 ± 0.01) y gomosidad (10.40 ± 0.26 N), en comparación a este estudio.

Olivares, Navarro, Salvador, & Flores (2010) muestran que la reducción de grasa en salchichas fermentadas secas utilizando grasa de cerdo al 10.20%, y maduras por 63 días, incide en las propiedades mecánicas, especialmente la dureza (242.3 y 210.6 N) y masticabilidad (147.3 y 124.2 N). La sustitución de grasa influye en las propiedades mecánicas de salchichas secas, encontrado una relación inversamente proporcional de la dureza y masticabilidad a mayor grado de sustitución.

De igual manera, la diferencia en propiedades mecánicas de salchichas tipo cabanossi son atribuidas a características intrínsecas de la materia prima (tipo de carne), a la formulación (presencia de fibra vegetal), así como a particularidades tecnológicas del proceso de elaboración, como el secado, que es un factor clave en las propiedades reológicas (Alastrué, Sanz, Olarte, & Romero, 2015; Alves et al., 2015; Fang, Lin, Ha, & Warner, 2018). El cambio en la firmeza resulta de una reducción del pH, que origina la solubilización de proteínas miofibrilares y en consecuencia la formación de un gel, debido al ordenamiento de proteína que confiere unión a la carne y partículas de grasa (Ikonić et al., 2015).

Por otro lado, el acondicionamiento de la muestra para su análisis (rebanadas o cubos) puede originar resultados variables, por lo que es pertinente estandarizar la geometría (Olivares et al., 2010).

Cornell (2002) menciona que el coeficiente (R^2_{adj}) como una medida de bondad de ajuste de la ecuación de regresión a las observaciones experimentales, debe estar cercano a 1, lo cual indica una buena correlación entre los valores observados y predichos; de igual modo, Gutierrez & De la Vara (2012) manifiestan que el coeficiente de determinación R^2_{adj} de cada modelo sea al menos 70%, para asegurar una

buena de correlación entre los valores observados y predichos por el modelo; a su vez, el modelo debe ser significativo y la falta de ajuste insignificante, con el objetivo de obtener un error mínimo (Mohamad Zen et al., 2015).

La optimización simultánea de las 16 formulaciones fue realizada de acuerdo a la metodología descrita por Cornell (2002); asignando un valor de 1 para el exponente t en la función de deseabilidad. En este estudio se seleccionó un patrón comercial de marcas de cabanossi comercializadas en Lima Metropolitana (IEES, 2017) igualmente caracterizadas (Tabla 2).

Para la validación se elaboró un cabanossi de acuerdo a las proporciones de la fórmula óptima, cuyas características de humedad (%), dureza (N), rendimiento (%) y actividad de agua fueron comparadas con los valores predictivos (modelo matemático) mediante la prueba t-Student, sin encontrar diferencias significativas.

V. CONCLUSIONES

Se logró obtener una formulación de cabanossi con carne de llama reducida en grasa mediante la incorporación de pulpa de papa cocida como fuente de fibra dietética, con atributos próximos a los productos comerciales. Se generaron 16 formulaciones de cabanossi empleando el diseño de mezclas por el D optimal, restringiendo los niveles de grasa y pulpa de papa cocida. El análisis del diseño planteó como solución una formulación con 72.41% de carne de llama, 16.81% de papa cocida y 10.78% de grasa, con una deseabilidad global de 0.84 (aceptable) y validada mediante la prueba de t de Student en comparación a una muestra experimental, sin encontrar diferencias significativas. La elección de sustitutos de grasa y sus niveles es un factor crítico que determinan las características sensoriales y mecánicas, asociadas a la aceptación del producto.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo de investigación ha sido financiado por el Programa Nacional de Innovación para la Competitividad y Productividad (Innovate Perú), de acuerdo al contrato N° 129-PNIPC-PIAP-2015 “Mejoramiento de la producción, calidad y procesamiento tecnológico de la carne de llama procedente de la sierra central del Perú”. A la Universidad Nacional Agraria La Molina (Perú) - Programa Doctoral de Ciencia en Alimentos-EPG-UNALM, por la Beca de Estudios financiada por el Ministerio de Educación del Perú (MINEDU). Los autores agradecen la colaboración del Ing. Oscar A. Crisóstomo Gordillo, docente de Escuela de Ingeniería Agroindustrial (UNMSM), por su aporte en la interpretación de resultados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alastrué, Y., Sanz, S., Olarte, C., & Romero, E. (2015). Caracterización del chorizo riojano III Análisis Sensorial. *Eurocarne*, 241, 4.
- Alves, S. P., Alfaia, C. M., Škrbić, B., Durišić-Mladenović, N., Fernandes, M. J., Bessa, R. J. B., & Fraqueza, M. J. (2015). Tracing Nutritional Composition of Dry Fermented Sausages from Distinct Origins. *Journal of Food Processing and Preservation*, 39(6), 2969–2978. <https://doi.org/10.1111/jfpp.12548>
- AOAC. (2006). Official Methods of Analysis. (W. Horwitz & G. Latimer, Eds.) (18th ed.). AOAC International.
- Arellano, O., Quispe, G., Ayaviri, D., & Escobar, F. (2017). Estudio de la Aplicación del Método de Costos ABC en las Mypes del Ecuador. *Revista Investigaciones Altoandinas*, 19(1), 33–46. <https://doi.org/10.1002/ria.2016.253>
- Bengtsson, H., Montelius, C., & Tornberg, E. (2011). Heat-treated and homogenised potato pulp suspensions as additives in low-fat sausages. *Meat Science*, 88(1), 75–81. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.12.005>

- Beriain, M. J., Gómez, I., Ibañez, F. C., Sarriés, M. V., & Ordóñez, A. I. (2018). Improvement of the Functional and Healthy Properties of Meat Products. In A. M. Holban & A. M. Grumezescu (Eds.), *Food Quality: Balancing Health and Disease* (1st ed., p. 530). Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811442-1.00001-8>
- Bolger, Z., Brunton, N. P., Lyng, J. G., & Monahan, F. J. (2016). Comminuted meat products - consumption, composition, and approaches to healthier formulations. *Food Reviews International*, 33(2), 143–166. <https://doi.org/10.1080/87559129.2016.1149861>
- Carrapiso, A. I., Martín-Cabello, L., Torrado-Serrano, C., & Martín, L. (2015). Sensory Characteristics and Consumer Preference of Smoked Dry-Cured Iberian Salchichon. *International Journal of Food Properties*, 18(9), 1964–1972. <https://doi.org/10.1080/10942912.2014.942781>
- Cobos, A., & Díaz, O. (2015). Chemical Composition of Meat and Meat Products. In P. C. . Cheung & B. M. Mehta (Eds.), *Handbook of Food Chemistry* (1st ed., pp. 471 – 510). Lugo: Springer-Verlag Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-36605-5>
- Cornell, J. A. (2002). *Experiments with Mixtures* (3rd ed.). New York: Jhon Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118204221>
- Cristofanelli, S., Antonini, M., Torres, D., Polidori, P., & Renieri, C. (2004). Meat and carcass quality from Peruvian llama (*Lama glama*) and alpaca (*Lama pacos*). *Meat Science*, 66, 589–593. [https://doi.org/10.1016/S0309-1740\(03\)00174-8](https://doi.org/10.1016/S0309-1740(03)00174-8)
- Elias, C. C. (2002). Aplicación Del Metodo De Diseño De mezclas en la sustitución de carne por Harina Texturizada De Soya, En Cabanossi. Universidad Nacional Agraria La Molina. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/1808>
- Esperbent, P.O.R.C. (2017). Carnes alternativas: símbolo de las economías regionales. (pp. 11–15).
- Fang, Z., Lin, P., Ha, M., & Warner, R. D. (2018). Effects of incorporation of sugarcane fibre on the physicochemical and sensory properties of chicken sausage. *International Journal of Food Science & Technology*, 1–9. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13894>
- Fernández-Diez, A., Caro, I., Castro, A., Salvá, B. K., Ramos, D. D., & Mateo, J. (2016). Partial Fat Replacement by Boiled Quinoa on the Quality Characteristics of a Dry-Cured Sausage. *Journal of Food Science*, 81(8), C1891–C1898. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13393>
- Fernández-López, J., Sendra, E., Sayas-Barberá, E., Navarro, C., & Pérez-Alvarez, J. A. (2008). Physico-chemical and microbiological profiles of “salchichón” (Spanish dry-fermented sausage) enriched with orange fiber. *Meat Science*, 80(2), 410–417. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2008.01.010>
- Flores, M., Olivares, A., & Corral, S. (2013). Healthy Trends Affect the Quality of Traditional Meat Products in Mediterranean Area, 183–188.
- Fonseca, S., Cachaldora, A., Gómez, M., Franco, I., & Carballo, J. (2013). Effect of different autochthonous starter cultures on the volatile compounds profile and sensory properties of Galician chorizo, a traditional Spanish dry fermented sausage. *Food Control*, 33(1), 6–14. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.01.040>
- Gutierrez, H., & De la Vara, R. (2012). *Análisis y diseño de experimentos* (3rd ed.). México D.F.: Mc Graw-Hill.
- Ikonić, P., Jokanović, M., Petrović, L., Tasić, T., Škaljac, S., Šojić, B., Džinić, N., Tomović, V., Tomić, J., Danilović, B., Ikonić, B. (2015). Effect of Starter Culture Addition and Processing Method on Proteolysis and Texture Profile of Traditional Dry-Fermented Sausage Petrovska klobása. *International Journal of Food Properties*, 19(9), 1924–1937. <https://doi.org/10.1080/10942912.2015.1089280>

- Instituto de Estudios Económicos y Sociales. IEES. (2017). Elaboración de Embutidos y Fiambres Embutidos Fiambres (3rd ed.). Lima.
- Lorenzo, J. M., & Franco, D. (2012). Fat effect on physico-chemical, microbial and textural changes through the manufactured of dry-cured foal sausage Lipolysis, proteolysis and sensory properties. *Meat Science*, 92(4), 704–714. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.06.026>
- Mamani-Linares, L. W., & Gallo, C. B. (2013). Meat quality attributes of the Longissimus lumborum muscle of the Kh'ara genotype of llama (*Lama glama*) reared extensively in northern Chile. *Meat Science*, 94(1), 89–94. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.12.013>
- Mejri, L., Ziadi, A., El Adab, S., Boulares, M., Essid, I., & Hassouna, M. (2016). Effect of commercial starter cultures on physicochemical, microbiological and textural characteristics of a traditional dry fermented sausage reformulated with camel meat and hump fat. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11(2), 758–767. <https://doi.org/10.1007/s11694-016-9445-6>
- Mohamad Zen, N. I., Abd Gani, S. S., Shamsudin, R., & Fard Masoumi, H. R. (2015). The use of D-optimal mixture design in optimizing development of okara tablet formulation as a dietary supplement. *Scientific World Journal*. <https://doi.org/10.1155/2015/684319>
- Mora-Gallego, H., Serra, X., Guàrdia, M. D., Miklos, R., Lametsch, R., & Arnau, J. (2013). Effect of the type of fat on the physicochemical, instrumental and sensory characteristics of reduced fat non-acid fermented sausages. *Meat Science*, 93(3), 668–674. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.11.042>
- Olivares, A., Navarro, J. L., Salvador, A., & Flores, M. (2010). Sensory acceptability of slow fermented sausages based on fat content and ripening time. *Meat Science*, 86(2), 251–257. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.04.005>
- Ospina-E, J. C., Sierra-C, A., Ochoa, O., Pérez-Álvarez, J. A., & Fernández-López, J. (2012). Substitution of saturated fat in processed meat products: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 52(2), 113–122. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.493978>
- Özkal, S. G., & Ercoşkun, H. (2016). Kinetic Modeling of Quality Aspects of Fermented Sausage (Sucuk) During Storage. *Kafkas Universitesi Veteriner Fakultesi Dergisi*, 23(2), 195–200. <https://doi.org/10.9775/kvfd.2016.16167>
- Puente Ramírez, E. J., Romero López, R., Rodríguez Borbón, M. I., & Trejo Mandujano, H. A. (2015). Aplicación del diseño por mezclas en la industria alimentaria. *Cultura Científica y Tecnológica*, 12(56), 140–151.
- Roca, M., & Incze, K. (1990). Fermented Sausages. *Food Reviews International*, 6(1), 91–118. <https://doi.org/10.1080/87559129009540862>
- Saavedra, O. R. (2014). Evaluación de la inclusión de quinua (*Chenopodium quinoa*) o papa (*Solanum tuberosum*) en la elaboración de cabanossi con carne de alpaca (*Vicugna pacus*). Universidad Nacional Agraria La Molina. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2474>
- Salvá, B. K., Zumalacárregui, J. M., Figueira, A. C., Osorio, M. T., & Mateo, J. (2009). Nutrient composition and technological quality of meat from alpacas reared in Peru. *Meat Science*, 82(4), 450–455. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2009.02.015>
- Swanepoel, M., Leslie, A. J., & Hoffman, L. C. (2016). Comparative analyses of the chemical and sensory parameters and consumer preference of a semi-dried smoked meat product (cabanossi) produced with warthog (*Phacochoerus africanus*) and domestic pork meat. *Meat Science*, 114, 103–113. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.12.002>
- Toldrá, F., & Reig, M. (2011). Innovations for healthier processed meats. *Trends in Food Science and Technology*, 22(9), 517–522. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2011.08.007>
- Triki, M., Herrero, A. M., Rodríguez-Salas, L., Jiménez-Colmenero, F., & Ruiz-Capillas, C.

- (2013). Chilled storage characteristics of low-fat, n-3 PUFA-enriched dry fermented sausage reformulated with a healthy oil combination stabilized in a konjac matrix. *Food Control*, 31(1), 158–165. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.10.008>
- Tyburcy, A., & Kozyra, D. (2010). Effects of composite surface coating and pre-drying on the properties of kabanosy dry sausage. *Meat Science*, 86(2), 405–410. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.05.025>
- Utrilla, M. C., García Ruiz, A., & Soriano, A. (2014). Effect of partial reduction of pork meat on the physicochemical and sensory quality of dry ripened sausages: Development of a healthy venison salchichon. *Meat Science*, 98(4), 785–791. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2014.07.027>
- Wang, Q., Wu, H., Xie, Y., Chang, H., Li, X., & Liu, C. (2017). Effects of tomato peel as fat replacement on the texture, moisture migration, and sensory quality of sausages with varied fat levels. *CyTA - Journal of Food*, 15(4), 582–591. <https://doi.org/10.1080/19476337.2017.1321586>
- Zhang, W., Xiao, S., Samaraweera, H., Lee, E. J., & Ahn, D. U. (2010). Improving functional value of meat products. *Meat Science*, 86(1), 15–31. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.04.018>
- Zhou, J. zhong, Liu, X. li, Huang, K. hong, Dong, M. sheng, & Jiang, H. hu. (2007). Application of the Mixture Design to Design the Formulation of Pure Cultures in Tibetan kefir. *Agricultural Sciences in China*, 6(11), 1383–1389. [https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(07\)60187-4](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(07)60187-4)

