

Optimización del nivel de sustitución de tejido graso de cerdo por inulina en la formulación de un paté bajo en grasa

Luis Salazar Del Carpio ¹, Carlos Elias P.² Bettit Salva R.³

Resumen

El Método de Diseños de Mezclas fue aplicado para determinar el porcentaje óptimo de sustitución de tejido graso de cerdo por inulina, para obtener un producto semejante a un paté comercial (PC). Se realizaron evaluaciones fisicoquímicas, sensoriales y de costo de producción. Los ingredientes principales fueron: Solución Acuosa de Inulina al 33,3% p/p, (SAI), Tejido Graso de Cerdo (TGC) e Hígado de Cerdo (HC). Se aplicó un Diseño Axial de Mezclas con restricciones, estableciéndose la composición de la formulación óptima de paté (PO): 62% de SAI, 25% de TGC y 13% de HC. Esto significa el reemplazo del 55,20% de TGC con SAI. El PO tuvo un contenido calórico de 190,25 kcal/100g, 99,59% de estabilidad de pasta cruda, 7,15 puntos de nivel de agrado (sobre una escala de 10 puntos) y un costo de producción de 2,23 Nuevos Soles/100g de paté. (\$1 = 3,5 Nuevos Soles). El análisis proximal del PO estableció un contenido graso de 14,73% (50,55% menos que PC) y un contenido de inulina de 17,80%.

Palabras clave:

Abstract

Mixture Surface Response Methodology was used to determine the optimal percentage of substitution of pork backfat with Inulin, to obtain a product similar to a Commercial Pâté (CP). Physicochemical assessments, sensory evaluations and cost of production were conducted. The principal ingredients were: Aqueous Inulin Solution (AIS) (33,3% w/w), Pork Backfat (PB) and Pork Liver (PL). Design Axial Mixing with restrictions was applied, establishing the composition of the optimum formulation of pâté (OP): 62% AIS, 25% of PB and 13% of PL. This means the replacing of 55,20% of PB with AIS. The OP had a caloric content of 190,25 kcal/100g, 99,59% of raw batter stability, 7,15 (over a 10 point scale) of liking level and \$0,64/100g of pâté as production cost. The proximal analysis of the OP established a fat content of 14,73% (50,55% fewer than CP) and a Inulin content of 17,80%.

Key words:

1. Introducción

Los consumidores son ahora más conscientes de la relación entre la dieta y la salud, por lo que el consumo de los alimentos bajos en calorías ha tenido una gran velocidad de expansión en la última década (IFT, 1989). De otro lado, la inulina es un oligosacárido que está considerado como fibra soluble y, a nivel industrial, es utilizada para la sustitución de grasas, reducción del contenido calórico, entre otros usos. Además, otorga propiedades funcionales benéficas, entre las que destacan un efecto fibra, bifidogénico (prebiótico) y de incremento de la biodisponibilidad del calcio (ORAFIT, 2002). La optimización de formulaciones alimenticias con respecto al costo, calidad sensorial, sustitución de ingredientes o insumos, etc., debe realizarse mediante el uso de técnicas estadísticas adecuadas. Una de estas técnicas corresponde a los denominados Diseños o Experimentos de Mezclas (Cornell, 2002). El producto paté fue escogido dado su elevado contenido graso, de aproximadamente un 50% (Cheftel *et al.*, 2000), lo cual permitió utilizar niveles importantes de inulina para su sustitución y obtener, consecuentemente, un producto con un porcentaje de grasa y contenido calórico significativamente reducidos.

De esta forma, el objetivo del presente trabajo de investigación fue determinar, mediante el Método de

Diseños de Mezclas, el nivel óptimo de sustitución de Tejido Graso de cerdo por Inulina en la formulación de un paté bajo en grasa.

2. Materiales y métodos

2.1 Materia prima e insumos

Carne fresca, tejido graso dorsal e hígado de cerdo, sal, azúcar blanca refinada, ajos, cebolla, caldo de carne, sorbato de potasio, sal de cura (al 32% de nitritos), concentrado funcional de soya (65% de proteínas sobre la base seca), Inulina de alto peso molecular, con un grado de polimerización igual o mayor a 23 (Raftiline[®] HPX, producida por ORAFIT Active Food Ingredients-Bélgica, adquirida en Deltagen Bioproducts del Perú), condimentos en polvo (pimienta negra, nuez moscada, glutamato monosódico) y envoltura sintética Betan[®] 40-Naturim GMBH & Co. KG (calibre nominal: 40mm, adquirida en QUIMSA, Perú).

2.2 Materiales y equipos

Procesador de Alimentos (Oster[®]), embudidora manual, balanza de precisión digital 0,1-200g (SOEHNLE[®]), termómetro digital (THERMO-PRO[®]), refrigerador (Coldspot[®]), computadora compatible Pentium III.

2.3 Preparación de la solución de Inulina

Se mezcló inulina y agua a 65°C, en la proporción 1:2, respectivamente; además de sorbato de potasio (0,02% del peso total). Se mezcló en el procesador de alimentos por dos minutos. Finalmente, la solución obtenida fue refrigerada a 4°C por 24 horas, para su estabilización.

¹ Ingeniero en Industrias Alimentarias.

² Facultad de Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Agraria La Molina. E-mail: celiasp@lamolina.edu.pe

³ Facultad de Industrias Alimentarias, Universidad Nacional Agraria La Molina. E-mail: bsalva@lamolina.edu.pe

2.4 Producción de paté

Para la producción de paté se utilizó la formulación que se muestra en el Tabla 1, la

misma que fue denominada “formulación base de paté” (PB).

Tabla 1. Formulación base para la producción de Paté.

Ingredientes	Porcentaje (%)
Carne de cerdo	5,00
Tejido graso dorsal de cerdo	45,00
Hígado de cerdo	35,80
Condimentos y otros	14,20
Total	100,00

La carne, el TGC y el HC fueron lavados y cortados en cubos de aprox. 2cm de lado. Posteriormente, la carne y el TGC fueron escaldados hasta que la temperatura interna alcance 65°C. Por otro lado, el HC fue escaldado a 80°C por 2min, molido y separado para ser adicionado posteriormente. La carne escaldada, junto con el caldo de carne y concentrado funcional, fueron mezclados por 40s en el procesador de alimentos. Luego se adicionaron los condimentos y el TGC, previamente escaldado, y se procesó por 30s. Cuando la temperatura fue igual o menor a 55°C, se adicionó el HC, previamente molido, y se procesó por 30s. Posteriormente, la pasta obtenida fue embutida y sometida a cocción en agua a 80°C por 40 min. El producto fue enfriado en un depósito con flujo de agua a 20°C por 15 minutos. El paté así obtenido fue refrigerado a 4°C.

2.5 Diseño experimental

Determinación del polinomio canónico de SCHEFFÉ

Con la finalidad de estudiar el efecto simultáneo de la SAI (x_1), el TGC (x_2) y el HC (x_3) sobre el contenido calórico (y_1), estabilidad de pasta cruda (y_2), nivel de agrado (y_3) y costo de producción (y_4); y posteriormente optimizar, el porcentaje de sustitución del segundo ingrediente por el primero, se aplicó un Diseño de Mezclas Axial para tres componentes, con restricciones mínimas y máximas sobre los mismos (Cornell, 2002). Se determinaron así una masa total y principal de ingredientes, cuya composición es presentada en el Tabla 2. Asimismo, tomando como referencia la información presentada por Schiffner *et al.* (1996) con respecto a las proporciones o porcentajes de TGC e HC que deben considerarse para la obtención de un paté de cerdo de buena calidad, se determinaron las restricciones mostradas en el Tabla 3.

Tabla 2. Composición de la masa total y principal del paté.

Masa	Porcentaje en función de Masa total (%)	Porcentaje en función de la Masa Principal (%)
Tejido graso de cerdo	45,00	55,80
Hígado de cerdo	35,80	44,20
Inulina Comercial (sol. acuosa al 33,3%)	0,00	0,00
TOTAL	80,80	100,00

Tabla 3. Restricciones sobre los ingredientes de la masa principal del Paté.

Porcentaje de Masa Total (%)	Porcentaje aproximado de Masa Principal (%)
$20 \leq \text{Tejido graso de cerdo} \leq 50$	$25 \leq \text{Tejido graso de cerdo} \leq 62$
$10 \leq \text{Hígado de cerdo} \leq 40$	$13 \leq \text{Hígado de cerdo} \leq 50$
$0 \leq \text{Sol. inulina comercial} \leq 50$	$0 \leq \text{Sol. inulina comercial} \leq 62$

De esta manera, las mezclas consideradas son las que se muestran en el Cuadro 4. Las formulaciones F2, F4, F6, F7, F8 y F10 representaron los puntos experimentales con los cuales se estimaron los modelos canónicos de Scheffé para cada respuesta;

mientras que las repeticiones F5, F11, F13 y F14 fueron utilizadas para una mejor estimación de la varianza del error (σ^2). Por otro lado, las formulaciones F1, F3, F9 y F12 fueron consideradas para el análisis de Falta de Ajuste (Lack of Fit) de los modelos antes mencionados.

Tabla 4. Formulaciones experimentales del Paté.

Formulación	x_1 Solución de inulina (%)	x_2 Tejido graso de cerdo (%)	x_3 Hígado de cerdo (%)
F1	43,50	25,00	31,50
F2	62,00	25,00	13,00
F3	12,50	37,50	50,00
F4	22,40	44,80	32,80
F5	62,00	25,00	13,00
F6	0,00	62,00	38,00
F7	0,00	50,00	50,00
F8	25,00	25,00	50,00
F9	43,50	43,50	13,00
F10	25,00	62,00	13,00
F11	25,00	25,00	50,00
F12	12,50	62,00	25,50
F13	25,00	62,00	13,00
F14	0,00	50,00	50,00

2.5.1 Optimización simultánea de respuestas

Se utilizó el método de la Deseabilidad Global (D), descrita por Cornell (2002). De acuerdo con ésta, se tuvo una función de deseabilidad para cada respuesta implicada (d_i). El objetivo de esta optimización fue encontrar aquella mezcla que cumpliera con determinadas restricciones. Dichas restricciones fueron establecidas en base a los resultados observados para un paté comercial (PC), de composición similar al PB. De acuerdo a la empresa Salchichería Alemana S.A. (Salchichería Alemana, 2005), el PC es uno de los patés de mayor aceptación por los consumidores de los niveles socioeconómicos medio-alto y alto de la ciudad de Lima (es percibido como uno de los de mayor calidad). De esta forma, las restricciones consideradas fueron las siguientes: Contenido calórico: menor o igual al del producto comercial, estabilidad de pasta cruda: mayor o igual a la del producto comercial, nivel de agrado: mayor o igual al del producto comercial, costo de producción: el mínimo entre el costo de producción del PC y el máximo costo de producción observado.

Dichas restricciones fueron graficadas en forma de contornos sobre el espacio factorial de mezcla (gráfico bidimensional). La intersección de dichos contornos definió la denominada “zona de formulación factible”; la misma que estuvo constituida por todas aquellas mezclas que cumplían simultáneamente con todas las restricciones impuestas, y sobre la cual se realizó la optimización. El valor denominado Deseabilidad Global (D) representó la media geométrica de los valores de las deseabilidades individuales, es decir: $D = (d_1 \times d_2 \times d_3 \times d_4)^{1/4}$ La fórmula de paté seleccionada como óptima (PO) fue aquella que tuvo el mayor valor D.

2.5.2 Caracterización de la formulación óptima PB, PC y PO fueron caracterizados y comparados respecto a su composición química proximal y parámetros texturales y de color.

2.6 Análisis proximal y el valor calórico

La humedad, el contenido de proteína, grasa y cenizas fueron determinados mediante los métodos AOAC 24.003, 24.027, 24.005 y 24.009, respectivamente (AOAC, 1990). El valor calórico de las diferentes formulaciones fue determinado mediante el método ASTM D2015-66.

2.7 Estabilidad de pasta cruda (EPC)

La EPC fue determinada de acuerdo a la método descrito por Ambrosiadis *et al.* (1996) y Silva *et al.* (2003). Se pesaron 25g de pasta cruda de paté en tubos de centrifuga de 50 ml, los cuales fueron sumergidos en un baño María de 75°C, por 30 min. Posteriormente, los tubos fueron centrifugados a 1600g por 10 min en una centrifuga VEB MLW Medizintechnik® (Alemana). Luego, el sobrenadante fue desechado; mientras que el precipitado fue removido, secado con papel toalla y pesado. La EPC fue expresada como el peso del precipitado, en porcentaje del peso inicial.

2.8 Análisis de color

Las coordenadas cieLab (L^* , a^* , b^*) fueron determinadas según el procedimiento señalado por Fernández-López *et al.* (2004). Una pequeña cantidad de muestra (aprox. 5g) fue colocada dentro una celda de medición de color y analizada con un espectrofotómetro Minolta® CM-2600d (Minolta Camera Co., Osaka, Japan), con iluminante D₆₅, un ángulo de observación de 10°, modo SCI, apertura de 11 mm para iluminación y de 8 mm para la medición. Los resultados fueron expresados como L^* (luminosidad: +L = blanco, -L = negro), a^* (rojizo: +a = rojo, -a = verde) y b^* (amarillento = +b = amarillo, -b = verde).

2.9 Análisis de perfil de textura (TPA)

El Análisis de Perfil de Textura (TPA) fue realizado de acuerdo al método descrito por Fernández-López *et al.* (2004). Para tal fin se utilizó un texturómetro QTS 25 (CNS Farnell-Brookfield Viscosimeters Ltd., Essex, UK), con el accesorio cilíndrico de acrílico, de 50,8 mm de diámetro y 20 mm de longitud. Las muestras de paté fueron cortadas en cubos de 1cm³ y comprimidas hasta el 70% de su altura original mediante un mecanismo denominado “de doble mordida”, a una carga de 25 kg y velocidad del brazo de compresión de 20cm/min. Los parámetros texturales determinados fueron: dureza (g), cohesividad, elasticidad (mm), gomosidad (g) y masticabilidad (gmm). Durante todo el análisis, la temperatura de las muestras se mantuvo a 4°C.

2.10 Rendimiento del costo de producción

El rendimiento por batch (η) para cada formulación fue calculado dividiendo el peso del producto final obtenido entre el peso de todos los ingredientes empleados y expresado como porcentaje (%). El costo de producción de cada formulación fue calculado considerando el costo de todos aquellos conceptos que no variaron entre las diferentes formulaciones (denominado Costo Constante, CC): energía eléctrica, agua, gas doméstico, mano de obra, envolturas, ingredientes que no pertenecieron a la masa principal; así como los costos correspondientes a los ingredientes de la masa principal, el rendimiento por batch y los pesos de la masa total y principal. Para dicho cálculo se utilizó la siguiente ecuación: $CP = (10^4 CC / \eta P_{MT}) + (P_{MP} [CIx_1 + CTGx_2 + CHx_3] / [10 \eta P_{MT}]$. Donde: CP = Costo de producción (Nuevos Soles/100 g de paté); CC = Costo constante (Nuevos Soles); CI = Costo de Inulina (Nuevos Soles/kg); CTG = Costo de Tejido graso de cerdo (Nuevos Soles/kg); CH = Costo de Hígado de cerdo (Nuevos Soles/kg); PMT = Peso de la masa total (g); PMP = Peso de la masa principal (g); x_1 = Porcentaje de Inulina en la masa principal (%); x_2 = Porcentaje de Tejido graso de cerdo en la masa principal (%); x_3 = Porcentaje de Hígado de cerdo en la masa principal (%); η = Rendimiento por batch (%).

2.11 Análisis sensorial

Se llevó a cabo una prueba de Nivel de Agrado o Grado de Satisfacción, con escala no estructurada de 10cm, según la metodología descrita por Pedrero y Pangborn (1996). El tamaño del grupo de consumidores por cada formulación evaluada fue de 50 personas (con edades entre los 17 y 35 años). Cada consumidor evaluó una muestra correspondiente a una formulación, la misma que estuvo a una temperatura de 4°C, codificada con un número aleatorio de 3 dígitos y acompañada de un trozo de pan insípido (tipo judío), tal como lo recomienda Anzaldúa-Morales (1994).

2.12 Análisis estadístico

Los resultados del análisis proximal de las materias primas representaron el promedio de tres repeticiones. Por otro lado, la producción de paté para cada formulación estudiada fue repetida tres veces. Los resultados correspondientes a los análisis físico-químicos, rendimiento y costo de producción fueron expresados como el promedio de las observaciones registradas en cada lote de paté (tres determinaciones o mediciones por cada formulación). En el caso de los resultados del análisis sensorial, éstos representaron el promedio de 50 observaciones por cada formulación. Con los resultados observados en las formulaciones experimentales, según el caso de la característica analizada (contenido calórico, estabilidad de pasta cruda, nivel de agrado o costo de producción), se realizó un análisis de Regresión Múltiple (Método de Mínimos Cuadrados), con la finalidad de obtener el Polinomio Canónico de Scheffé que describa la dependencia de dicha característica en función de los ingredientes bajo estudio (Cornell, 2002). La determinación de dicho polinomio; así como su respectivo Análisis de Varianza (ANVA) y Prueba de Significancia de

Coefficientes (nivel de significación $\alpha = 0,05$), fueron llevados a cabo mediante la utilización del programa estadístico Design-Expert® 7.0 (Trial version). Por otro lado, la falta de ajuste del modelo fue también establecida mediante esta prueba, debiendo ser su valor de probabilidad F (Prob > F) mayor a 0,05. Adicionalmente, la bondad de ajuste de la ecuación de regresión a las observaciones experimentales fue establecida mediante el Coeficiente de Determinación (R^2) y Coeficiente de Determinación Ajustado (R^2_{adj}).

Los resultados del análisis proximal, de color y Perfil de textura de las muestras de paté correspondientes a las formulaciones base (PB), óptima (PO) y producto comercial (PC) fueron sometidos, de acuerdo al trabajo de Fernández-López *et al.* (2004), a un análisis de varianza con un factor (tipo de paté), con la finalidad de establecer si existen diferencias significativas entre éstas (p value < 0,05). Posteriormente, a fin de determinar entre que muestras existían dichas diferencias, se utilizó la prueba de comparaciones múltiples de Tukey. Estos análisis estadísticos fueron hechos utilizando el programa estadístico Minitab®, versión 14.0.

3. Resultados y discusión

3.1 Análisis proximal de los ingredientes principales

Los resultados del análisis proximal de las materias primas empleadas se muestran en el Tabla 5. Respecto al TGC, estos resultados son similares a los datos reportados por la Cia. Archer Daniels Midland (ADM, 2002): 95% de grasa, 4% de humedad y 1% de proteína. En el caso del HC, se puede apreciar que estos resultados son semejantes a los valores indicados por Prändl *et al.* (1994): 71,8% de humedad, 20,1% de proteínas, 5,7% de grasa, 0,5% de carbohidratos y 1,3% de ceniza. Finalmente, respecto a la inulina comercial (Raftiline® HPX), la composición química proximal presentada corresponde a la reportada en su ficha técnica.

Tabla 5. Composición químico proximal de las materias primas.

Componente	PORCENTAJE (%)		
	Tejido graso de cerdo (TGC)	Hígado de Cerdo (HC)	Inulina comercial*
Humedad	6,00	71,73	3,0
Proteína	3,00	21,39	0,0
Grasa	91,00	3,65	0,0
Ceniza	0,0	0,76	0,2
Carbohidratos	0,0	2,47	0,4
Fibra dietaria (inulina)	-	-	96,4
TOTAL	100,00	100,00	100,00

* Datos consignados en la ficha técnica correspondiente.

3.2 Determinación del polinomio canónico de SCHEFFÉ

Los valores observados y estimados de cada característica, correspondientes a las formulaciones estudiadas, son presentados en el Tabla 6. Las

ecuaciones polinomiales obtenidas fueron las siguientes:

$$\begin{aligned} \hat{y}_1 &= 0,53x_1 + 6,07x_2 + 0,44x_3 \\ \hat{y}_2 &= 1,19x_1 - 0,24x_2 + 1,36x_3 + 0,016x_1x_2 - 0,017x_1x_3 \\ &+ 0,011x_2x_3 \\ \hat{y}_3 &= 0,065x_1 + 0,083x_2 + 0,025x_3 + 9,733x_10^{-4}x_1x_3 \end{aligned}$$

$$\hat{y}_4 = 0,028x_1 + 0,014x_2 + 0,013x_3$$

Los resultados del ANVA de dichos modelos se muestran en el Tabla 7. En todos los casos, el valor $F_c > F_t$ ($\alpha = 0,05$), lo cual implica que los modelos estimados son altamente significativos.

Tabla 6. Valores observados y estimados de las características para cada formulación experimental de paté.

Formulación	(y_1) (kcal/100g de paté)	(\hat{y}_1) (kcal/100g de paté)	(y_2) (%)	(\hat{y}_2) (%)	(y_3)	(\hat{y}_3)	(y_4) (S./100g de paté)	(\hat{y}_4) (S./100g de paté)
F1	192,76	188,69	90,24	90,99	7,33	7,35	1,99	1,96
F2	191,90	190,25	99,54	99,59	7,11	7,15	2,16	2,23
F3	265,24	256,48	91,58	91,61	7,00	6,92	1,46	1,53
F4	296,71	298,44	80,47	80,22	7,42	7,47	1,72	1,67
F5	160,13	190,25	100,00	99,59	7,23	7,15	2,24	2,23
F6	348,61	393,44	63,05	63,41	7,46	7,61	1,36	1,36
F7	291,25	325,84	84,27	84,18	7,08	7,02	1,36	1,35
F8	175,73	187,13	94,29	94,14	6,83	6,88	1,70	1,70
F9	306,24	292,90	85,34	85,40	7,29	7,33	2,04	1,97
F10	405,66	395,55	60,49	60,47	7,64	7,63	1,72	1,71
F11	211,16	187,13	94,39	94,14	6,88	6,88	1,71	1,70
F12	416,77	394,49	60,17	59,26	8,00	7,77	1,54	1,54
F13	399,10	395,55	59,93	60,47	7,56	7,63	1,66	1,71
F14	360,69	325,84	83,89	84,18	6,97	7,02	1,36	1,35

Asimismo, los modelos muestran una falta de ajuste no significativa ($\alpha = 0,05$), dado que $F_c < F_t$. Adicionalmente, se puede afirmar que los experimentos tuvieron buena reproducibilidad, puesto que la suma de cuadrados del error puro es menor en comparación con la suma de cuadrados total (Cornell, 2002). Considerando el coeficiente de determinación (R^2), se puede establecer que la variación en cada una de las respuestas es explicada por el correspondiente modelo seleccionado. Por otro lado, con referencia al coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}) y a su interpretación en las investigaciones de Gao y Jiang (2005) y Aktaş (2005), se puede afirmar que los

modelos estimados se ajustan de manera adecuada a los datos experimentales referidos en el Tabla 6.

Con respecto a los coeficientes de las ecuaciones estimadas, éstos fueron analizados mediante la prueba F de Fischer, con la finalidad de eliminar aquellos que no presentaran significancia estadística ($\alpha = 0,05$). El Tabla 8 resume los resultados de dicho análisis.

3.3 Evaluación del efecto de ingredientes

Las Figuras 1 y 2 muestran la superficie de respuesta, el ploteo de contornos y el gráfico denominado “Trazos de Cox” para cada característica estudiada.

Tabla 7. Resultados del análisis de varianza (ANVA) de la ecuación de regresión estimada para cada característica.

Característica	Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Valor F calc	Valor F tab	Prob > F	R^2	R^2_{adj}
Contenido calórico	Modelo	98898,38	2	49449,19	78,57	$F_{(2,11)} = 3,98$	< 0,0001	0,9346	0,9227
	Falta de ajuste	3358,51	7	479,79	0,54	$F_{(7,4)} = 6,09$	0,7772		
	Error puro	3564,78	4	891,20					
	Total	105821,67	13						
EPC	Modelo	2901,28	5	580,26	2080,94	$F_{(5,8)} = 3,69$	< 0,0001	0,9992	0,9988
	Falta de ajuste	1,89	4	0,47	5,56	$F_{(4,4)} = 6,39$	0,0625		
	Error puro	0,34	4	0,085					
	Total	2903,51	13						
Nivel de agrado	Modelo	1,28	5	0,26	19,16	$F_{(5,8)} = 3,69$	0,0003	0,9229	0,874
	Falta de ajuste	0,089	4	0,022	5,05	$F_{(4,4)} = 6,39$	0,0730		
	Error puro	0,018	4	0,004					
	Total	1,39	13						
Costo de producción	Modelo	1,11	2	0,55	291,28	$F_{(2,11)} = 3,98$	< 0,0001	0,9815	0,9781
	Falta de ajuste	0,015	7	0,002	1,68	$F_{(7,4)} = 6,09$	0,3221		
	Error puro	0,005	4	0,001					
	Total	1,13	13						

Para el caso del contenido calórico de paté, se puede establecer que el TGC posee un gran efecto sobre éste, incrementando el valor del mismo a medida que su porcentaje en la mezcla aumenta (trazo de Cox muy inclinado hacia la derecha). En el caso del TGC y de la SAI, ambos ejercen una disminución en el valor del contenido calórico conforme se incrementan sus niveles dentro de la mezcla o formulación (el

trazo de Cox para ambos ingredientes presenta similar inclinación hacia la izquierda). Esto se sustenta en el hecho de que la inulina, de acuerdo a la empresa ORAFIT (ORAFIT, 2002), tiene un aporte calórico de tan sólo 1,5 kcal/g; mientras que el HC aporta, de acuerdo a su composición química proximal (Tabla 5), solamente 1,3 kcal/g.

Tabla 8. Prueba de significancia para los coeficientes del modelo de regresión estimado para cada característica.

Característica	Término del modelo	Coefficiente estimado	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Cuadrado Medio	Valor F	p value Prob>F
Contenido calórico	Lineales	$x_1 = 0,53$	98898,38	2	49449,19	78,57	< 0,0001
		$x_2 = 6,07$					
		$x_3 = 0,44$					
EPC	Lineales	$x_1 = 1,19$	2589,47	2	1294,73	4643,22	< 0,0001
		$x_2 = -0,24$					
		$x_3 = 1,36$					
	x_1x_2	0,016	58,98	1	58,98	211,51	< 0,0001
	x_1x_3	-0,017	77,32	1	77,32	277,28	< 0,0001
	x_2x_3	0,011	15,29	1	15,29	54,82	< 0,0001
Nivel de agrado	Lineales	$x_1 = 0,065$	0,99	2	0,49	36,84	< 0,0001
		$x_2 = 0,083$					
		$x_3 = 0,025$					
	x_1x_2	$-1,891 \times 10^{-4}$	0,009	1	0,009	0,64	0,4461
	x_1x_3	$9,733 \times 10^{-4}$	0,25	1	0,25	18,59	0,0026
	x_2x_3	$6,444 \times 10^{-4}$	0,05	1	0,05	3,76	0,0883
Costo de producción	Lineales	$x_1 = 0,028$	1,11	2	0,55	291,28	< 0,0001
		$x_2 = 0,014$					
		$x_3 = 0,013$					

Con respecto a la estabilidad de pasta cruda de paté (EPC), analizando el trazo de Cox se puede apreciar que el efecto negativo ejercido por el TGC es grande. Esto se debe a que elevados niveles de grasa no son emulsificados en su totalidad por las proteínas hepáticas; éstas últimas, según Schiffner *et al.* (1996), son los agentes emulsificantes para el caso de paté de cerdo. Considerando al hígado de cerdo, la influencia positiva que éste ejerce sobre la estabilidad es muy grande (su trazo de Cox es muy inclinado hacia la derecha). Dicha influencia se justifica por el hecho que las proteínas aportadas por este ingrediente no sólo tienen capacidad de emulsificar la grasa; sino que además, según Prändl *et al.* (1994), incrementan la viscosidad de la fase continua de la emulsión (fase acuosa), por lo que dan estabilidad al sistema, de acuerdo a la ley de Stokes-Einstein (Yeruva, 2002). En referencia al efecto ejercido por la solución de inulina, éste es similar al observado para el hígado de cerdo (trazo de Cox muy inclinado hacia la derecha). Dicho efecto se explica por el hecho de que la inulina, de acuerdo a lo señalado por la empresa ORAFI (ORAFI, 2002) y Kim *et al.* (2001), puede inmovilizar grandes cantidades de agua, aproximadamente de 5 a 6 veces su peso y con ello, retardar fenómenos relacionados con la inestabilidad de la emulsión, según la ley de Stokes-Einstein (Yeruva, 2002).

En referencia al nivel de agrado de paté, el efecto ejercido por el TGC es de considerable magnitud, pues el trazo de Cox asociado a este ingrediente presenta una inclinación muy pronunciada hacia la derecha. En tal sentido, conforme aumenta el porcentaje de tejido graso en la mezcla, el nivel de agrado se incrementa. Este hecho se justifica pues, de acuerdo a Pearson y Dutson (1997), la grasa contribuye considerablemente a la apariencia, textura y sabor en alimentos; atributos que determinan la aceptabilidad de los mismos. Por otro lado, si se

incrementa el HC disminuye en el nivel de agrado y, dicha disminución está asociada al sabor característico del hígado. Al respecto, Prändl *et al.* (1994), señalan que incorporaciones cada vez mayores de hígado de cerdo acentúan de manera muy marcada el aroma del mismo en el paté. Respecto al efecto de la SAI, conforme se incrementa su nivel, el nivel de agrado disminuye. Esto último se debe, de acuerdo a lo señalado por Pearson y Dutson (1997), a un efecto de dilución de componentes responsables del sabor, consecuencia de la mayor cantidad de agua añadida a la formulación. Cabe mencionar que la Inulina no aporta sabor (ORAFI, 2002).

En relación al costo de producción, se puede apreciar que el mayor efecto lo ejerce la solución de inulina (trazo de Cox muy inclinado hacia la derecha); mientras que el tejido graso e hígado de cerdo presentan un efecto opuesto (trazos de Cox superpuestos e inclinados hacia la izquierda). Esto se debe a que el costo de la Inulina es de 19,50 Nuevos Soles/kg; mientras que el TGC e HC tienen un costo de 4,00 y 3,00 Nuevos Soles/kg, respectivamente.

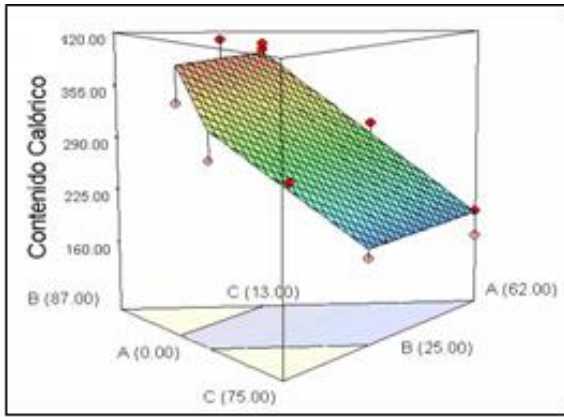
3.4 Optimización simultánea de respuestas

La optimización simultánea de las respuestas se realizó de acuerdo al método descrito por Cornell (2002); asignando un valor de 1 para el exponente t en la función de deseabilidad. Las características del paté comercial (PC) que representaron las restricciones para realizar la optimización referida son presentadas en la Tabla 9.

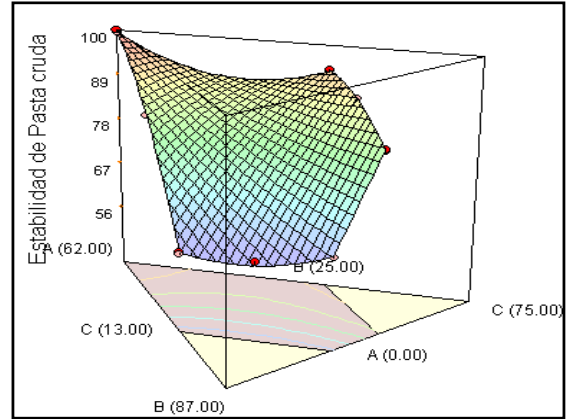
Tabla 9. Características del paté comercial de referencial.

Contenido calórico (kcal/100g)	Estabilidad de pasta cruda (%)	Nivel de agrado	Costo de producción (Nuevos Soles/100g)
323,57	95,46	6,91	2,15

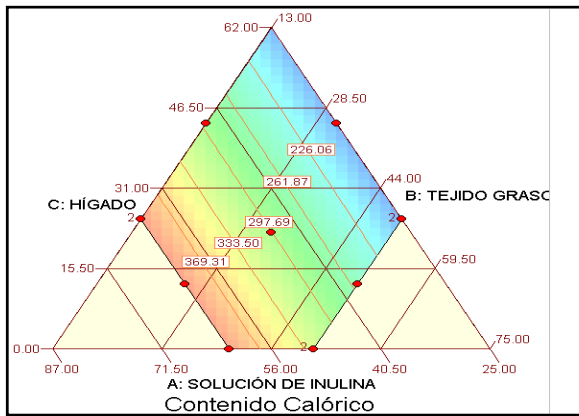
Figura 1. Superficie de respuesta, ploteo de contornos y trazos de COX para el caso de contenido Fig. 1(a), 1(b), 1(c)) y estabilidad de pasta cruda (Fig. 1(d), 1(e), 1(f)) de paté.



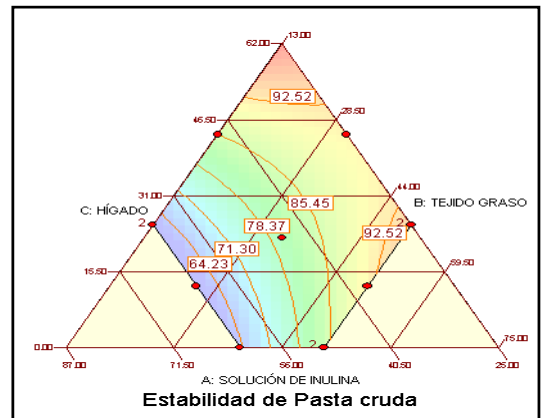
1(a)



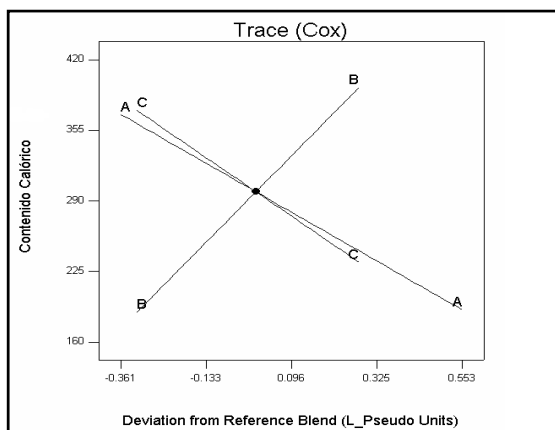
1(d)



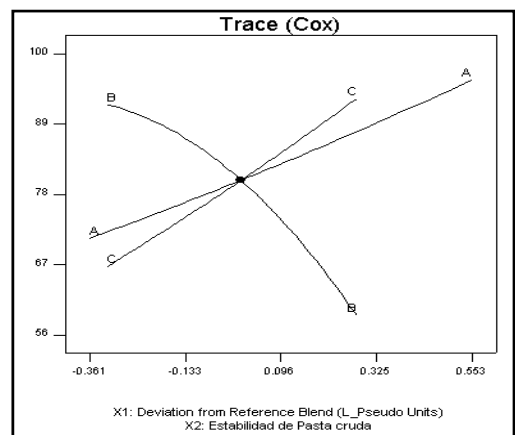
1(b)



1(e)

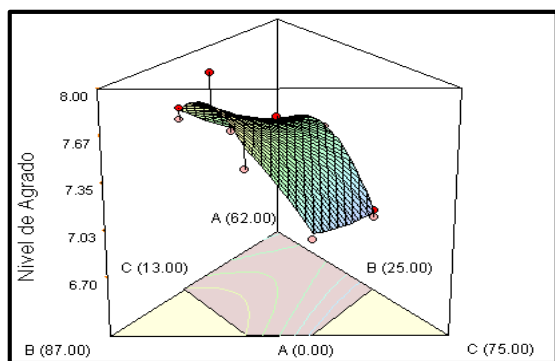


1(c)

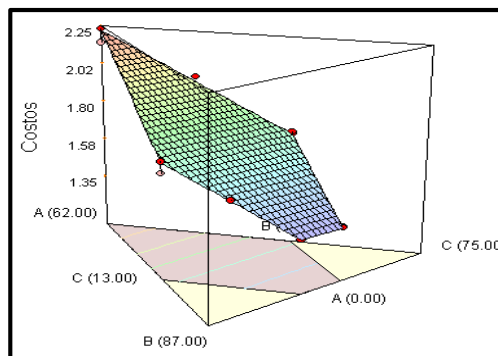


1(f)

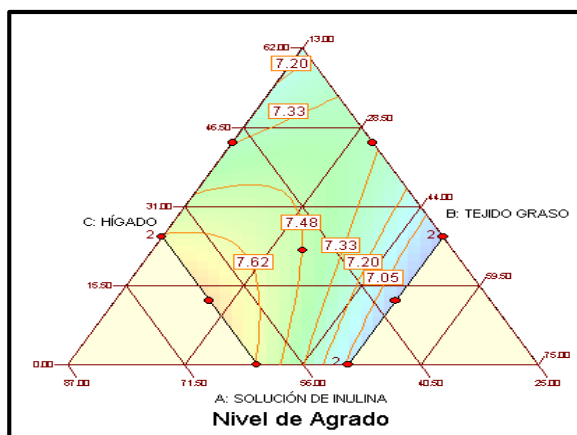
Figura 2. Superficie de respuesta ploteo de controles y trazos de COX para el caso de nivel de agrado (Fig. 2(a), 2(b), 2(c)) y costo de producción (Fig. 2(d), 2(e), 2(f)) de paté.



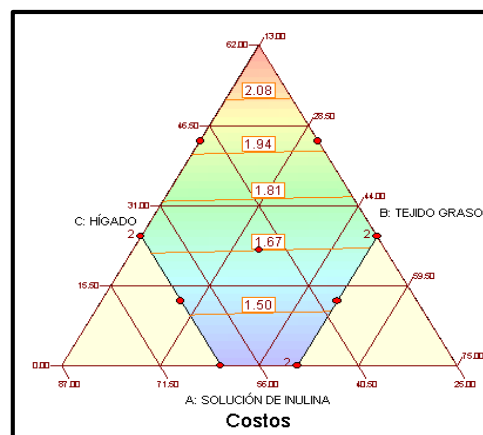
2 (a)



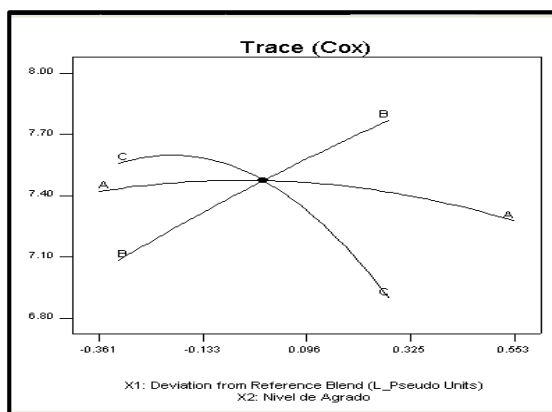
2 (d)



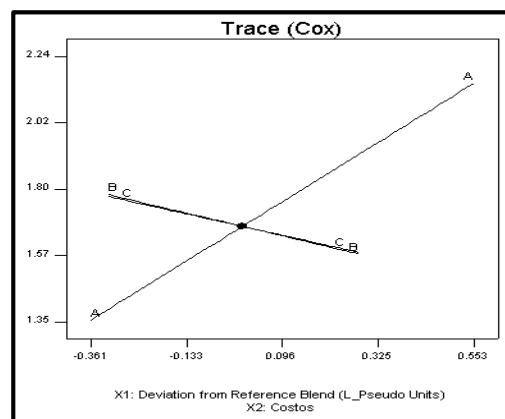
2(b)



2(e)



2 (c)



2 (f)

De esta manera, la formulación seleccionada como óptima debía contar con las siguientes características: contenido calórico: menor o igual a 323,57 kcal/100g; estabilidad de pasta cruda: mayor o igual al 95,46%; nivel de agrado: mayor o igual a 6,91; costo de producción: el mínimo entre 2,15 y 2,24 Nuevos Soles/100g de paté. El primer valor corresponde al costo de producción del PC, teniendo en cuenta que su precio de venta fue de 2,80 Nuevos Soles/100g de paté y que, de acuerdo a la empresa

Deltagen del Perú, proveedora de ingredientes e insumos de las principales empresas productoras de paté, la utilidad asociada a este producto cárnico equivale al 30% de sus costos. (\$1 = 3,50 Nuevos Soles). El segundo valor corresponde al máximo costo observado.

Las funciones de deseabilidad para cada respuesta fueron los siguientes:

$$\begin{aligned}
 & \text{Minimización del Contenido Calórico} \quad d_1 = \begin{cases} 0 & \hat{y}_1 \geq 373,57 \\ \left[\frac{\hat{y}_1 - 373,57}{220,25 - 373,57} \right] & 220,25 < \hat{y}_1 < 373,57 \\ 1 & \hat{y}_1 \leq 220,25 \end{cases} \\
 & \text{Maximización de la estabilidad de pasta cruda} \quad d_2 = \begin{cases} 0 & \hat{y}_2 \leq 95,46 \\ \left[\frac{\hat{y}_2 - 95,46}{100 - 95,46} \right] & 95,46 < \hat{y}_2 < 100 \\ 1 & \hat{y}_2 \geq 100 \end{cases} \\
 & \text{Maximización del Nivel de Agrado} \quad d_3 = \begin{cases} 0 & \hat{y}_3 \leq 6,91 \\ \left[\frac{\hat{y}_3 - 6,91}{8,00 - 6,91} \right] & 6,91 < \hat{y}_3 < 8,00 \\ 1 & \hat{y}_3 \geq 8,00 \end{cases} \\
 & \text{Minimización del Costo de Producción} \quad d_4 = \begin{cases} 0 & \hat{y}_4 \geq 2,24 \\ \left[\frac{\hat{y}_4 - 2,24}{2,15 - 2,24} \right] & 2,15 < \hat{y}_4 < 2,24 \\ 1 & \hat{y}_4 \leq 2,15 \end{cases}
 \end{aligned}$$

En la Figura 3 se muestran cada una de las restricciones referidas. Las zonas de color naranja contienen todas aquellas formulaciones que cumplen con las restricciones impuestas. Finalmente, la zona de formulación factible (zona color verde), está determinada por la intersección de las cuatro zonas anteriores.

De esta forma, luego de considerar las restricciones y funciones de deseabilidad antes señaladas, se obtuvieron tres soluciones, cuyas composiciones y características son mostradas en el Tabla 10. De acuerdo a los datos presentados, la mezcla denominada Formulación 1 sería seleccionada como óptima, puesto que su valor de deseabilidad global es el más elevado (0,506). Como se puede apreciar, esta formulación cumpliría con todas las restricciones impuestas, siendo ligeramente más estable que PC; además de tener un mayor nivel de agrado, menor contenido calórico (reducción del 40,27%) y costo de producción ligeramente más alto. Por otro lado, la mezcla denominada Formulación 3, que también cumpliría con todas las restricciones impuestas, presenta un menor porcentaje de tejido graso e hígado de cerdo y un mayor nivel de inulina.

Debido a ello, la reducción del contenido calórico respecto al PC es mayor que para el caso anterior (41,20%). Además, su costo de producción es ligeramente más alto, aunque éste queda ampliamente justificado si se tiene en cuenta que un alimento con mayor contenido de inulina sería más deseable por las propiedades benéficas que implica el consumo de dicho ingrediente.

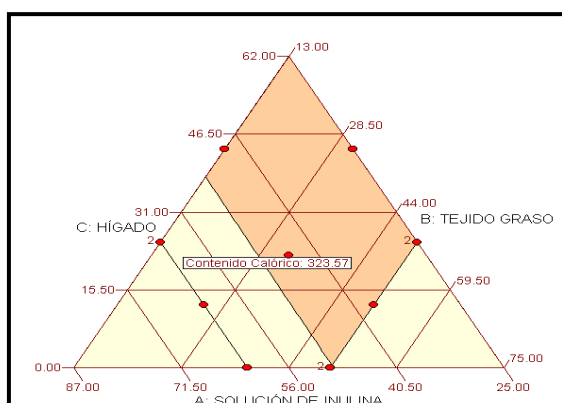
Cuadro 10. Composición y características de las mezclas obtenida tras la optimización simultánea de respuestas.

Formulación	Composición			Características				
	Solución de Inulina x_1 (%)	Tejido graso x_2 (%)	Hígado de cerdo x_3 (%)	Contenido Calórico (kcal/100g de paté)	Estabilidad de pasta cruda (%)	Nivel de agrado	Costo de producción (Nuevos Soles/100g de paté)	D
Formulac. 1	58,92	25,59	15,50	193,28	97,48	7,22	2,18	0,506
Formulac. 2	58,81	28,19	13,00	207,95	97,91	7,17	2,18	0,496
Formulac. 3	62,00	25,00	13,00	190,25	99,59	7,15	2,23	0,376

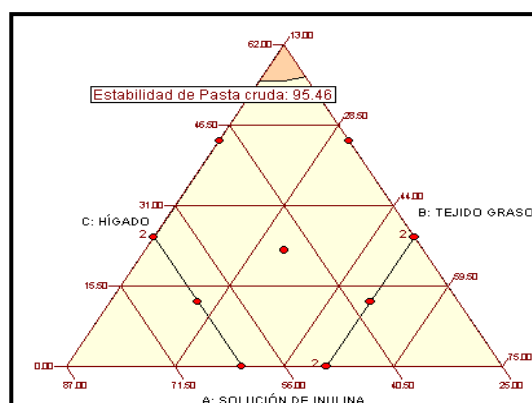
Por todo ello, la formulación seleccionada como óptima para el presente trabajo de investigación correspondió a la mezcla denominada Formulación 3 (PO), que es la misma que las formulaciones experimentales denominadas F2 y F5, y que está

constituida por el máximo nivel de SAI y los porcentajes más bajos de TGC e HC. Esto significó, considerando el porcentaje de TGC de la formulación base de paté, una reducción del 55,20%.

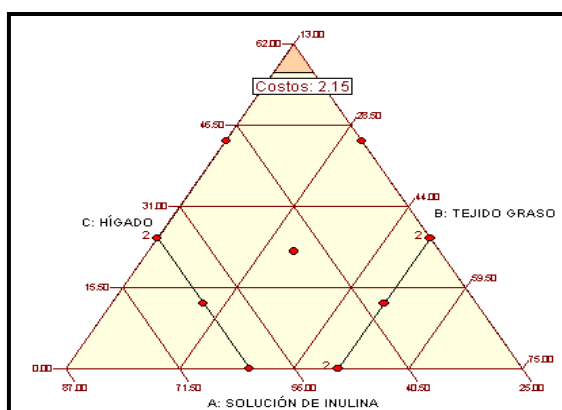
Figura 3. Restricciones para el caso de contenido calórico (3 (a)), estabilidad de pasta cruda (3(b)), nivel de agrado (3(c)), costo de producción (3(d)) y zona de formulación factible (3(e)).



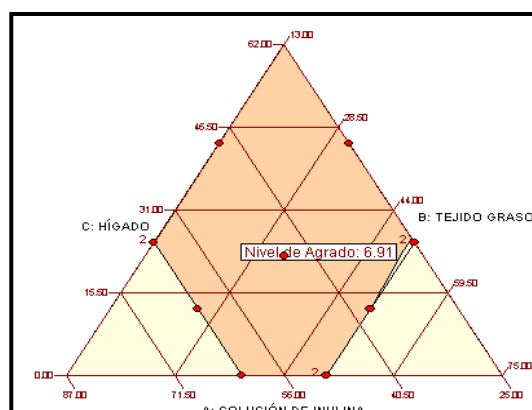
3 (a)



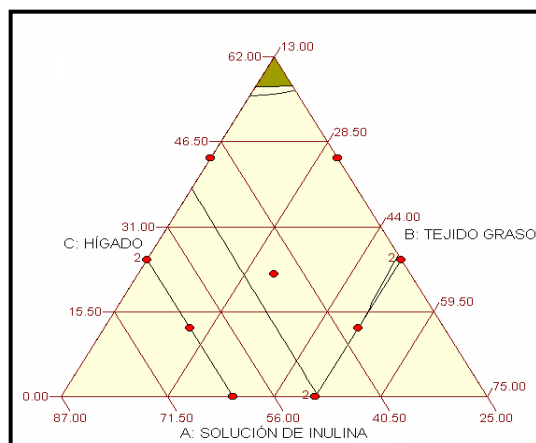
3 (b)



3 (c)



3 (d)



3(e)

3.5 Caracterización de la formulación óptima

Las muestras de paté correspondientes a PC, formulación base (PB) y formulación óptima (PO), fueron caracterizadas respecto a su composición química proximal, parámetros de textura y de color. Como se puede apreciar en el Cuadro 11, las tres muestras presentaron diferencias significativas en cuanto a su composición química proximal.

Comparando PC y PO, se observa una disminución en el porcentaje de este componente del 50,55%; hecho que convierte al segundo producto, según la norma señalada por la Food and Drug Administration (FDA, 2005), en un alimento “Light”. Asimismo, al comparar PB y PO, se puede establecer que la reducción del porcentaje de grasa fue mucho más dramática, aproximadamente del 60,51%.

Tabla 11. Composición química proximal de las muestras de paté correspondientes a las formulaciones óptima (PO), base (PB) y producto comercial (PC)*.

Tipo de Paté	Humedad (%)	Proteína (%)	Grasa (%)	Cenizas (%)	Inulina (%)
Paté Óptimo (PO)	59,56 ± 0,09 ^a	4,67 ± 0,07 ^a	14,70 ± 0,02 ^a	2,03 ± 0,03 ^a	17,8 ± 0,01
Paté Base (PB)	47,37 ± 0,02 ^b	11,15 ± 0,09 ^b	37,22 ± 0,04 ^b	2,32 ± 0,05 ^b	-
Paté Comercial (PC)	53,92 ± 0,13 ^c	11,32 ± 0,01 ^c	29,73 ± 0,06 ^c	2,47 ± 0,04 ^c	-

* Los promedios en la misma columna con letras distintas, son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

En relación al porcentaje de inulina del PO, éste fue de 17,8%. Considerando dicho valor; así como los estudios clínicos con humanos realizados por Gibson *et al.* (1995), Den Hond *et al.* (2000), y Tuohy *et al.* (2001); citados por Franck (2001), que demuestran que la dosis de inulina que proporciona efectos benéficos tales como prevención de cáncer de colon, mejora del tránsito intestinal y efecto bifidogénico, es de 8 g/día, se puede plantear la hipótesis de que se necesitarían consumir aproximadamente 45g de PO/día para que los efectos antes mencionados se reflejen en el organismo. Esta cantidad se podría alcanzar fácilmente, si se tiene en cuenta que la "Cantidad Normalmente Consumida de Referencia" (Reference Amount Customarily Consumed, RACC) del paté, según la FDA (2005) y la Canadian Food Inspection Agency (1996), es de 55g.

Con referencia a los análisis de perfil de textura (TPA) mostrados en el Tabla 12, se puede mencionar

que las muestras correspondientes a PC y PO presentaron menores valores de los parámetros texturales en comparación a los de la muestra de PB, debido principalmente al menor porcentaje de grasa y mayor contenido de agua registrados para las dos primeras muestras. Al respecto, Johnson *et al.* (1977); citados por Grigelmo-Miguel *et al.* (1999), señalan que la reducción de grasa o el incremento de agua en una emulsión cárnica dan como resultado una pasta cocida con menor calidad textural.

Respecto a los resultados del análisis de color, presentados en el Cuadro 13, el paté correspondiente al PO tuvo un mayor valor L*, pero valores más bajos a* y b* que PB y PC, lo que equivale a decir que fue más claro, menos rojo y menos amarillo. Esto es atribuible a la alta cantidad de inulina presente en la primera muestra, la cual tiene un color blanco, y por ello, de acuerdo a Fernández-López *et al.* (2004), induce a un incremento en la luminosidad (L*).

Tabla 12. Parámetros texturales (Análisis de perfil de textura) de las muestras de paté correspondientes a las formulaciones óptima (PO), base (PB) y producto comercial (PC)*.

Tipo de Paté	Dureza (g)	Elasticidad (mm)	Cohesividad	Gomosidad (g)	Masticabilidad (gmm)
Paté Óptimo (PO)	97,00 ± 5,29 ^a	1,87 ± 0,05 ^a	0,36 ± 0,04 ^a	34,95 ± 4,43 ^a	53,68 ± 2,98 ^a
Paté Base (PB)	187,67 ± 2,31 ^b	2,97 ± 0,08 ^b	0,40 ± 0,03 ^a	72,37 ± 3,41 ^b	202,76 ± 2,32 ^b
Paté Comercial (PC)	180,00 ± 4,58 ^b	1,26 ± 0,02 ^c	0,26 ± 0,03 ^b	44,96 ± 2,76 ^c	56,55 ± 2,07 ^a

* Los promedios en la misma columna con letras distintas, son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

Tabla 13. Parámetros de color de las muestras de paté correspondientes a las formulaciones óptima (PO), base (PB) y producto comercial (PC)**.

Tipo de Paté	L*	a*	b*
Formulación Óptima	+70,22 ± 0,01 ^a	+3,51 ± 0,02 ^a	+12,97 ± 0,03 ^a
Formulación Base	+62,00 ± 0,01 ^b	+6,27 ± 0,02 ^b	+14,33 ± 0,02 ^b
Producto Comercial	+67,90 ± 0,01 ^c	+8,76 ± 0,04 ^c	+13,29 ± 0,02 ^c

* Los promedios en la misma columna con letras distintas, son significativamente diferentes ($p < 0,05$).

Asimismo, su menor cantidad en hígado de cerdo no sólo provoca un incremento de la luminosidad, sino también una disminución del color rojo (valor a*). Al respecto, Schiffner *et al.* (1996) señalan que el hígado contribuye a obtener un paté más oscuro, y que en presencia de sales de nitritos, puede incrementar el tono rojizo del mismo. Esto último podría ser la justificación de la diferencia respecto al valor a*

4. Conclusiones

La formulación óptima de paté presentó una composición, sobre la base de la masa principal, del 62% de SAI, 25% de TGC y 13% de HC. Asimismo, el máximo porcentaje de sustitución de TGC por SAI fue de 55,20%, respecto a la formulación base de paté. La formulación del PO presentó un contenido calórico de 190,25 kcal/100g de paté, una estabilidad de 99,59% de la pasta cruda, un nivel de agrado de

entre PB y PC. Con respecto al menor color amarillo de PO, esto se debe a su bajo contenido graso, ya que según Pietrasick (1999), este componente no es absolutamente blanco, teniendo cierta coloración amarilla; por lo que es de esperar una relación directa entre el nivel del mismo en el producto y el valor b*.

7,15 (sobre una escala de 10 puntos) y un costo de producción de 2,23 Nuevos Soles/100g; siendo mejor, excepto en el costo de producción, al paté comercial de referencia. El análisis proximal del producto obtenido con la formulación óptima estableció una humedad del 59,56%, 4,67% de proteína, 14,70% de grasa, 2,03% de cenizas y 17,80% de inulina. El porcentaje de grasa del paté obtenido con la formulación óptima implicó una

reducción del 50,55% respecto al del paté comercial de referencia (29,73%); lo que significa que el primer producto podría ser denominado "Light". El paté obtenido con la formulación óptima presentó, junto con el paté comercial, valores menores de los parámetros de textura en comparación con la formulación base. De acuerdo al análisis de color Cie LAB, el paté obtenido con la formulación óptima tuvo un mayor L* y valores menores de a* y b* que los correspondientes a la formulación base y paté comercial, es decir fue más claro, menos rojo y menos amarillo.

5. Referencias bibliográficas

- ADM. Archer Daniels Midland Company. 2002. Información no publicada. ADM. Protein Specialties Division. Illinois. U.S.A.
- Aktaş, N. 2005. Optimization of biopolimerization rate by response surface methodology (RSM). *Enzyme and Microbial Technology*. Turkey. 37: 441-447.
- Ambrosiadis, J., Vareltzis, K.P. and Georgakis, S.A. 1996. Physical, chemical and sensory characteristic of cooked meat emulsion style products containing vegetable oils. *International Journal of Food Science and Technology*. Greece. 31: 189-194.
- Anzaldúa-Morales, A. 1994. La Evaluación Sensorial de los Alimentos en la Teoría y la Práctica. Editorial Acribia S.A. Zaragoza - España. 198p.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemist. 1990. *Official Methods of Analysis*. 15th. ed. Washington, D.C. 1105p.
- Canadian Food Inspection Agency. 1996. Guidelines on Nutrition Labelling. En: *Guideline No. 2: Health*. Canada, Health Protection Branch. Ottawa, Canadá. 16-17p.
- Cheftel, J. y Cheftel, H. 2000. *Introducción a la Bioquímica y Tecnología de los Alimentos*. Editorial Acribia S.A. Zaragoza - España. 333p.
- Cornell, J.A. 2002. *Experiments with Mixtures: Designs Models and the Analysis of Mixture Data*. Third Edition. John Wiley & Sons, Inc. New York. 649p.
- Design-Expert®. 2005. Section 7-Mixture designs tutorials. En: *User's Guide*. Version 7.0. for Windows. Stat-Ease, Inc. Minneapolis-U.S.A. 7-1, 7-38p.
- FDA. Food and Drug Administration. 2005. *The Food Label Document*. U.S.A. Department of Health and Human Services. Rockville, Maryland. U.S.A. Disponible en: <http://vm.cfsan.fda.gov/label.html>. Revisado: Octubre 21.
- Fernández-López, J.; Sayas-Barberá, E.; Sendra, E. and Pérez-Álvarez, J. 2004. Quality characteristics of ostrich liver pâté. *Journal of Food Science*. Spain. 69 (2): SNQ 85- SNQ 91.
- Frank, A. 2001. Beneo®-Símbolo de bienestar. *Revista para la Empresa ORAFTI. Raffinerie Tirlémontoise*. Tienen-Bélgica. 1: 3-15.
- Gao, Y-L.; Jiang, H-H. 2005. Optimization of process conditions to inactivate *Bacillus subtilis* by high hydrostatic pressure and mild heat using response surface methodology. *Biochemical Engineering Journal*. China. 24: 43-48.
- Grigelmo-Miguel, N.; Abadías-Serós, M.; Martín-Belloso, O. 1999. Characterisation of low-fat high-dietary fiber frankfurters. *Meat Science*. Spain. 52: 247-256.
- IFT. Institute of Food Technologist. 1989. Expert panel on food safety and nutrition. *Low calorie foods*. *Food Technology*. U.S.A. 43 (4): 113-125.
- Kim, Y.; Faqih, M.; Wang, S. 2001. Factors affecting gel formation of inulin. *Carbohydrate Polymers*. U.S.A. 46: 135-145.
- ORAFTI. 2002. Información no publicada. ORAFTI-Raffinerie Tirlémontoise. Commercial Department. Tienen-Bélgica.
- Pearson, A. and Dutson, T. 1997. *Production and Processing of Healthy Meat, Poultry and Fish Products*. *Advances in Meat Research Series*. First edition. Volume 11. Chapman & Hall. Great Britain. 367p.
- Pedrero, D. y Pangborn, R. 1996. Evaluación Sensorial de los Alimentos, Métodos Analíticos. Editorial Alhambra Mexicana. México D.F. 251p.
- Pietrasik Z. 1999. Effect of content of protein, fat and modified starch on binging textural characteristics, and colour of comminuted scalded sausages. *Meat Science*. U.S.A. 51:17-25.
- Prändl, O., Fischer, A., Schmidhofer, P., y Sinell, H. 1994. Embutidos cocidos. En: *Tecnología e Higiene de la Carne*. Editorial Acribia S.A. Zaragoza, España. 577-591p.
- Salchichería Alemana S.A. 2005. Información no publicada. Salchichería Alemana S.A. Departamento de Marketing. Lima-Perú.
- Schiffner, E.; Opel, K. y Lortzing, D. 1996. Embutidos cocidos. En: *Elaboración Casera de Carne y Embutidos*. Editorial Acribia S.A. Zaragoza - España. 129-166p.
- Silva, J.G., Morzis, H.A., Oliveira, A.L., and Silvestre, M.P.C. 2003. Addition effects of bovine blood globin and sodium caseinate on the quality characteristics of raw and cooked ham pâté. *Meat Science*, Brazil. 63:177-184.
- Yeruva, S. 2002. Información no publicada. Emulsions. Particle Engineering Research Center. University of Florida. U.S.A.