

# Estudio de las propiedades funcionales de mezclas de proteínas en un sistema modelo

## Functional properties optimization of protein mixtures in a model system

María Guadalupe Cádiz-Carrasco\*, Luis Germán Cumplido-Barbetia\*\*, Oralia Orduño-Fragoza\*,  
María Alba Guadalupe Corella-Madueño\*

### RESUMEN

Utilizando diseño de mezclas, Cornell (1990) formuló un sistema de mezclas de tres componentes: extracto de proteína cárnica de cerdo (PCC), concentrado de proteína de suero (CPS) y plasma bovino (PB). El objetivo fue estudiar el efecto de interacciones de ingredientes sobre propiedades funcionales de mezclas de proteínas en un sistema modelo. La variable fuerza de gel y el índice de actividad emulsificante mostraron un efecto lineal en las mezclas, por presencia de PCC y por los tres componentes, respectivamente; además, en las dos variables se observó interacción negativa de PCC·CPS y PCC·PB. En la capacidad de retención de agua solo se encontró efecto por presencia de PCC. La pérdida de proteína en el agua liberada de los geles después de la compresión aumentó linealmente por efecto de adición de CPS, con interacción positiva de CPS·PB. Las interacciones de los ingredientes fueron significativas en las propiedades de las mezclas.

### ABSTRACT

Cornell's (1990) mixtures design was used to formulate three-component mixture systems: pig meat protein extract soluble in saline solution (PCC), serum protein concentrate (SPC) and bovine plasma (PB). The objective was to study ingredients interaction effects on functional properties of protein mixtures in a prototype system. Gel strength variable and emulsifying activity index showed a linear effect in mixtures, due to presence of PCC and the three components, respectively. A negative interaction between PCC·CPS and PCC·PB was noticed. In water retention capacity only effect of PCC presence was found. Loss of protein in water released from gels after compression linearly increased due to addition of CPS, showing a positive interaction of CPS·PB. In the emulsifying activity index there was a linear effect of the three components and a negative interaction of PCC·CPS and PCC·PB. Ingredients interactions in mixture properties were significant.

Recibido: 3 de septiembre de 2015

Aceptado: 5 de agosto de 2016

#### Palabras clave:

Propiedades funcionales; MSR; sistemas modelo; proteína cárnica soluble en sal.

#### Keywords:

Functional properties; Response surface methodology (RSM); model systems; salt-soluble meat protein.

#### Cómo citar:

Cádiz-Carrasco, M. G., Cumplido-Barbetia, L. G., Orduño-Fragoza, O., & Corella-Madueño, M. A. G. (2016). Estudio de las propiedades funcionales de mezclas de proteínas en un sistema modelo. *Acta Universitaria*, 26(4), 3-11. doi: 10.15174/au.2016.970

### INTRODUCCIÓN

Actualmente, la industria alimenticia responde a las preferencias del consumidor. Por ello, en todo el mundo se están elaborando productos con bajo contenido de grasa en respuesta a los deseos del consumidor, debido a que son conscientes de los tipos de alimentos que tienen menor número de efectos negativos sobre su estado de salud y a que saben que los problemas de sobrepeso se asocian con el exceso de grasa en las dietas. Se trata de una tendencia que repercute de una u otra forma en los cambios que ocurren en los productos alimenticios en México, incluyendo los elaborados por la industria cárnica, la cual tendrá que responder a ellos modificando las fórmulas actuales por otras que le permitan elevar la calidad nutricional de los productos mexicanos, sin dejar de ser competitivos en precio (Tarté, 2008).

\* Departamento de Ciencias Químico Biológicas, Universidad de Sonora. Luis Encinas y Rosales s/n, Colonia Centro, Hermosillo, Sonora, México, C.P. 83000. Tel.: (662) 2592163 y 64. Correos electrónicos: canez@correom.uson.mx; oorduno@correom.uson.mx; lcorella@guayacan.uson.mx

\*\* Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo A. C. Carretera a la Victoria km. 0.6, Hermosillo, Sonora, México, C.P. 83304. Tel.: (662) 2892400. Correo electrónico: cumplido@ciad.com

Al respecto, las proteínas constituyen una parte muy importante dentro de la alimentación, ya que desempeñan un amplio número de funciones en las células de todos los seres vivos. Por un lado, forman parte de la estructura básica de los tejidos y, por otro, desempeñan funciones metabólicas y reguladoras (Huerta, Chel, Castellanos & Betancur, 2009). Por ello, la búsqueda de nuevos ingredientes que permitan obtener una mejor funcionalidad proteica a bajo costo es de interés científico y tecnológico (Cóccaro, 2010). En la actualidad, las proteínas no cárnicas son cada día más populares por su costo inferior comparadas con la proteína animal (carne). Las proteínas no cárnicas tienen el objetivo de sustituir una parte de la misma que se emplearía en un producto o, visto de otra forma, ampliar o extender la cantidad de carne efectivamente empleada con un aporte proteico y funcional adecuado. Además aportan los siguientes beneficios: ligan agua, mejoran rendimientos, reducen costos, adicionan textura, mejoran el perfil nutricional, estabilizan el agua y la grasa en una emulsión (Alvarado, 2006). Las proteínas más comunes son: aislados y concentrados de proteína de suero de leche, proteína de plasma, proteína de germen de trigo, proteína de soya, entre otras (Carrillo-Bocardo, Velasco-González, Gamero-Barraza & Ibarra-Alvarado, 2010).

Por otro lado, la aplicación de modelos para el entendimiento y optimización de procesos en el desarrollo de productos permite la obtención de beneficios, tales como el incremento de rendimientos, reducción de la variabilidad, reducción en el tiempo de proceso y reducción de costos (Corona-González *et al.*, 2013; Hernández-Díaz, Hernández-Campos, Vargas-Galarze, Rodríguez-Jiménez & García-Alvarado, 2013; Téllez-Mora, Peraza-Luna, Feria-Velasco & Andrade-González, 2012). Para el estudio de la funcionalidad y el efecto de diferentes condiciones de proceso es necesario emplear sistemas modelo. La metodología de superficie de respuesta es una técnica de modelamiento estadístico empírico empleada para el análisis de regresión múltiple, utilizando datos cuantitativos obtenidos de experimentos diseñados adecuadamente para resolver ecuaciones de múltiples variables de forma simultánea (Morshedi & Akbarian, 2014). Asimismo, los sistemas modelo son de composición simple en comparación con los sistemas biológicos que son de naturaleza muy compleja, donde muchos factores afectan las relaciones entre las propiedades funcionales de los diferentes constituyentes (Cofrades, López-López, Solas, Bravo & Jiménez-Colmenero, 2008). Los factores que afectan la formación y estabilidad de estos sistemas complejos pueden determinarse con razonable precisión en sistemas modelo que asemejan

las condiciones de proceso. En orden de simplificar la investigación de los papeles desempeñados por uno o varios ingredientes, los sistemas modelo permiten la combinación de dos o más componentes, controlando las condiciones que generalmente se utilizan, aproximándose, para la obtención de valores cuantitativos en la determinación de las propiedades funcionales, como una simple y racional manera de evaluar nuevos ingredientes (Choi *et al.*, 2011).

El objetivo de este trabajo fue estudiar los efectos de las interacciones de ingredientes sobre las propiedades funcionales de mezclas de proteínas en un sistema modelo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El material cárnico empleado en el estudio se obtuvo del rastro del Grupo ALPRO, S. A. (tipo Inspección Federal núm. 66), ubicado en Hermosillo, Sonora, y consistió en recortes de puerco 90:10 (carne:grasa).

Las proteínas no cárnicas comerciales utilizadas en el estudio fueron: concentrado de proteína de suero de leche (CPS) AMP 800 y plasma bovino (PB) AMP 600 (ambas de AMPC Inc., Ames, Iowa 50010 USA). Estas proteínas se prepararon 24 h antes de su utilización para permitir su hidratación máxima. Posteriormente se adicionaron al extracto de proteína cárnica de cerdo (PCC) soluble en disolución salina, con la finalidad de elaborar los sistemas modelo proteicos (SMP). Finalmente se mezclaron de modo manual durante tres minutos para lograr una mezcla homogénea.

Los recortes de puerco 90:10 se obtuvieron 24 h después del sacrificio de los animales en el rastro antes mencionado. La muestra se colocó en hielo y se trasladó al Laboratorio de Ciencia y Tecnología de la Carne del Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (Hermosillo, Sonora, México). Una vez que a las muestras se les retiró la mayor cantidad de grasa y tejido conectivo, se procedió a la molienda en un procesador de alimentos *Dual Speed Food Processor* modelo 702-7 (Hamilton Beach Inc., USA).

Para la extracción de proteínas solubles en disolución salina se usó el método descrito por Camou & Sebranek (1991), el cual consistió en mezclar una parte de carne molida con 2.2 partes de disolución salina (NaCl 0.56 M,  $\text{Na}_5\text{P}_3\text{O}_{10}$  17.8 mM y  $\text{NaN}_3$  1 mM). El extracto de las proteínas (miofibrilares y sarcoplásmicas) se separó del residuo por filtración y la concentración de proteína en el extracto se ajustó a 40 mg/mL de disolución.

**Tabla 1.**  
 Sistemas modelos proteicos.

Muestra	PCC	PCS	PB
1	100	-----	-----
2	-----	100	-----
3	-----	-----	100
4	33.33	33.33	33.33
5	50.00	50.00	-----
6	-----	50.00	50.00
7	50.00	-----	50.00
8	66.66	16.66	16.66
9	16.66	66.66	16.66
10	16.66	16.66	66.66

Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 2.**  
 Coeficientes de regresión de las propiedades funcionales de las mezclas.

Variables dependientes	Variables independientes				
	$X_1$	$X_2$	$X_3$		
FG	2.609	---	---		
CRA	89.587	---	---		
PPA	---	110.784	---		
IAE	0.15	0.162	0.179		
Interacciones de términos no lineales					
$X_1 \cdot X_2$	$X_1 \cdot X_3$	$X_2 \cdot X_3$	$X_1 \cdot X_2 \cdot X_3$		
-2.215	-1.287	-1.287	---	-5.47	
95.271	98.19	98.19	---	---	
-167.504	---	---	189.355	-686.069	
-0.191	-0.13	-0.13	-0.128	---	

Fuente: Cornell (1990).

Se utilizó el diseño de mezclas Cornell (1990) para formular sistemas de mezclas de tres componentes: PCC y dos proteínas no cárnicas (CPS y PB). Los diez puntos consistieron de tres sistemas de ingredientes únicos, tres de mezclas de dos ingredientes y cuatro de mezclas de tres ingredientes (tabla 1). Cada una de las formulaciones se preparó para obtener una concentración proteica final de 40 mg/mL y pH de 6.5.

A los geles obtenidos de cada SMP se les midió su fuerza, utilizando el método de compresión y extrusión y capacidad de retención de agua (Camou & Sebranek, 1991). La concentración de proteína de los SMP y del agua liberada de los geles después de la compresión se determinó por el método de Biuret (Gornall, Bardawill & David, 1949).

## Modelos de regresión y predicción de las propiedades de las mezclas

En la predicción de los valores para las variables respuestas se adecuaron modelos matemáticos para los datos colectados en cada tratamiento.

### Modelo experimental

$$Y_i = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \beta_{123} X_1 X_2 X_3,$$

donde para las variables ingredientes  $X_1$  = PCC (rango 0% – 100%),  $X_2$  = CPS (rango 0% – 100%) y  $X_3$  = PB (rango 0% – 100%). Las  $\beta$ 's son los valores de los coeficientes, los cuales se estimaron para indicar los efectos de varias combinaciones de ingredientes sobre la respuesta. Cuando se utiliza este modelo para predecir la respuesta, la suma de las variables independientes  $X_1$ ,  $X_2$  y  $X_3$  debe ser igual a 100%. La primera porción del modelo conteniendo el término  $\beta$  con subíndice simple representa un efecto lineal de los componentes de la mezcla. Los términos del modelo conteniendo el término  $\beta$  con subíndice doble representan los efectos cuadráticos de la mezcla de pares de componentes. La porción de la ecuación conteniendo el término  $\beta$  con subíndice triple representa efectos cúbicos causados por la mezcla de tres componentes.

No todos los coeficientes ( $\beta$ 's) se requirieron para describir adecuadamente el efecto de las tres variables ingredientes sobre la respuesta en cada uno de los cinco modelos generados para predecir su respectiva respuesta (tabla 2). Dos métodos estadísticos se usaron para determinar la inclusión de un término específico en el modelo. Se desarrolló una prueba-t sobre los términos individuales en el modelo, usando el valor del coeficiente  $\beta$  estimado y su error estándar. La segunda prueba se desarrolló sobre modelos competitivos para determinar si existe un mejoramiento en el coeficiente de correlación múltiple ajustado ( $RA^2$ ) como resultado de la inclusión de términos en el modelo. El valor de  $RA^2$  de los modelos es cercano a la unidad. Los valores de  $RA^2$  no deben confundirse con los coeficientes de correlación simple ( $r$ ), los cuales se calculan para comparar la relación entre respuestas.

### Diseño experimental

Se utilizó un modelo cuadrático para expresar las variables de respuesta a la capacidad de gelificación (FG), capacidad de retención de agua (CRA), pérdida de proteína en el agua liberada de los geles (PPA) e índice de

actividad emulsificante (IAE) en función de los factores independientes, donde PCC, CPS y PB son valores codificados de extracto de proteína cárnica de cerdo soluble en disolución salina, concentrado de proteína de suero de leche y plasma bovino, respectivamente. El sistema modelo control (proteínas miofibrilares y sarcoplásmicas de cerdo) fue la unidad experimental.

## Análisis estadístico

Se utilizó el procedimiento de superficie de respuesta para el análisis estadístico de las variables de respuesta. Este procedimiento evaluó primeramente el efecto de cada uno de los factores y sus interacciones sobre la funcionalidad de las proteínas en el sistema modelo.

Se utilizó el procedimiento de modelos competitivos, el cual consiste en la inclusión o exclusión de algunos términos en el modelo para determinar si existe un incremento en el coeficiente de determinación ( $R^2$ ); es decir, para la selección de aquellos modelos que explicaron en un porcentaje más alto los cambios ocurridos en las variables. Se analizó el tipo de efecto, además de un análisis canónico de superficie de respuesta para encontrar los niveles óptimos de cada factor. En las variables donde se encontró significancia en el análisis de superficie de respuesta se complementó con la construcción de gráficas de superficie de respuesta para tres factores para una mejor interpretación de los efectos y sus comportamientos en el modelo. Todos los datos se analizaron utilizando el paquete estadístico SAS, 1999.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Evaluación de las propiedades funcionales de ingredientes y mezclas

La fuerza de gel (figura 1) y la capacidad de retención de agua presentó valores máximos en las mezclas donde la participación de la PCC era mayor (1 y 8); en aquellas donde la cantidad de PCC fue del 50% (mezclas 5 y 7), la CRA se mantuvo en niveles más altos que el resto de las mezclas, sin embargo la FG disminuyó notablemente, por lo que se considera que tanto el CPS como el PB influyeron negativamente sobre esta última propiedad. En las mezclas donde el CPS y el PB participan con un mayor porcentaje (2%, 3%, 6%, 9% y 10%), tanto la FG como la CRA son mínimas o nulas en la mayoría de los casos. Lo anterior se explica debido a que las proteínas de suero de leche con-

tienen muchos grupos hidrofílicos que por efecto del proceso térmico interactúan con el agua, aumentando la CRA de la carne (Hayes, Desmond, Troy, Buckley & Mehra, 2007; Sammel, Claus, Greaser & Lucey, 2007). Badpa & Ahmad (2014) afirman que la adición de concentrado de proteína de suero de leche (1%, 2%, 3% y 4%) aumenta el contenido de proteínas (23.55%, 23.96%, 24.06% y 24.10%, respectivamente), humedad (64.40% – 64.82%) y la CRA (71.18% – 71.50%) en salchichas frescas. Sin embargo, disminuye la FG cuando se mezcla con proteínas musculares solubles en sal (McCord, Smyth & O'Neill, 1998). Esto se debe a que el concentrado de proteína de suero de leche forma geles débiles debido a que parte de la proteína no forma parte de la red tridimensional del gel.

Investigaciones sobre geles de mezclas de proteínas indican que no es posible predecir su gelificación basándose en las propiedades gelificantes de las proteínas individuales, tampoco puede asumirse un efecto aditivo en las propiedades de las mismas.

Por otro lado, las mezclas que contenían mayor cantidad de CPS (2, 6 y 9) presentaron mayor pérdida de proteína en el agua liberada de los geles después de la compresión. Esto indica que los sistemas modelos proteicos con mayor proporción de CPS formaron geles débiles por la cantidad de proteína que no formó parte de la red tridimensional del gel. La calidad de los productos bajos en grasa depende de las características de la matriz formada, las cuales varían de acuerdo con la cantidad de proteína y tipo de grasa presente.

Las emulsiones son generalmente inestables, a menos que otro componente conocido como *emulsifica-*

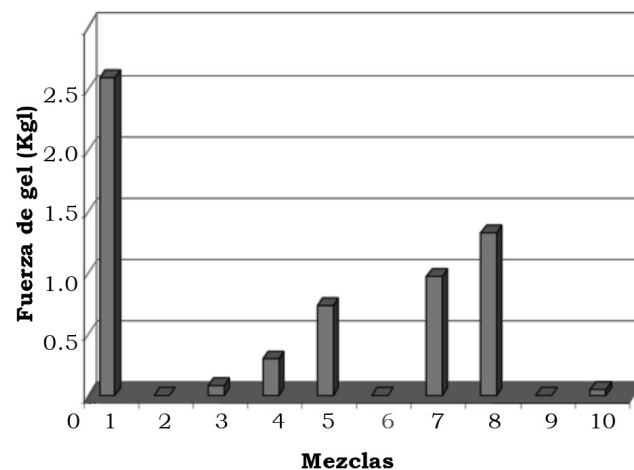


Figura 1. Valores promedio de la FG de las mezclas experimentales. Fuente: Elaboración propia.



dor esté presente. En las emulsiones cárnicas, la fase dispersa es la grasa, la fase continua es el agua y el agente emulsificante es la proteína, especialmente las miofibrilares de la carne. Existen diversos factores que pueden afectar la estabilidad de una proteína y, por consiguiente, la capacidad emulsificante, entre ellos está la concentración de la sal, proteínas o altas temperaturas. El PB (mezcla 3) presentó mayor capacidad de emulsificación, seguido de CPS (mezcla 2) y de la mezcla 6 (50% PB + 50% CPS). No obstante, no todas las muestras que contenían PB mantuvieron tal efectividad emulsificante, aunque en términos generales todas las mezclas presentaron un buen IAE al compararse con PCC. La sangre de algunos animales como el bovino se aprovecha en diversos países para la alimentación humana, incorporándola en los alimentos como fuente de proteína de bajo costo. Estas proteínas poseen propiedades funcionales de aplicación en la industria de alimentos como agente emulsificante, ya que lo anterior es debido al alto nivel proteico, capacidad de hidratación, emulsificación y formación de un gel estable y firme; además, confiere al producto cárnico una calidad aceptable al mezclarse con proteína de origen (Isaza-Rengifo, Londoño-Ramírez, Restrepo-Molina, Cortes-Rodríguez & Suárez-Mahecha, 2010). Consecuentemente, para incrementar su valor agregado de las proteínas del plasma es necesario utilizar estas proteínas como ingredientes funcionales en productos cárnicos emulsificados; en este sentido, es poca la información sobre las propiedades del plasma bovino hidratado utilizado en embutidos.

## Modelos de regresión y predicción de las propiedades de las mezclas

Durante la formulación de los productos cárnicos emulsionados, los parámetros de calidad de ingredientes individuales se usan para predecir la calidad promedio de la mezcla. Esto se obtiene calculando un valor medio del parámetro, y de acuerdo con la proporción de cada ingrediente en la mezcla, este valor no considera interacciones entre ingredientes (Arteaga, Li-Chan, Nakai, Cofrades & Jiménez, 1993).

Los análisis de regresión de los datos desarrollados permitieron establecer modelos que describieron tales relaciones. Esto confirma que las interacciones entre proteínas de los ingredientes fueron importantes. En la tabla 3 se muestran los modelos que tuvieron efectos. Los valores positivos de los coeficientes de regresión parcial para los términos no lineales sugieren un efecto sinérgico de mezclas binarias o terciarias, mientras que valores negativos sugieren efectos antagónicos (Arteaga *et al.*, 1993). El término positivo  $X_1X_2$

en el modelo para CRA indicó que las mezclas que contienen PCC y CPS podrían tener valores de CRA más altos que los calculados, asumiendo un modelo lineal. En contraste, los términos negativos  $X_1X_2$  en los modelos para fuerza de gel, IAE sugieren que las interacciones entre PCC y PB podrían resultar en valores bajos para estos parámetros.

Los valores experimentales de algunas propiedades seleccionadas se compararon con los valores calculados, y se observó claramente que los valores calculados son desviados de los valores experimentales; solamente en las mezclas 1, 2 y 3, en todos los casos, los valores calculados y experimentales son iguales, las cuales contenían las proteínas individuales (PCC, PCS y PB, respectivamente). De modo paralelo, en las figuras 2 y 5 (FG e IAE) los valores calculados para la mayoría de las mezclas (4-10) fueron mayores que los experimentales. Sin embargo, en la figura 3 (CRA) se observó que los valores experimentales para las mezclas 4, 5, 7 y 8 fueron mayores que los calculados. En la figura 4 (PPA) se observan grandes diferencias entre valores calculados y experimentales, en las mezclas 4, 5, 8 y 10, donde los valores experimentales resultaron menores que los calculados. Por otra parte, en las mezclas 6 (50% CPS) y 9 (66% CPS), los valores experimentales son similares a los de la mezcla 2 que contenía únicamente CPS, por lo que la pérdida de proteína es responsable de la formación de un gel débil comparado con el de CPP. La pérdida de proteína en el agua liberada de los geles en las mezclas presenta un comportamiento esperado en relación con la FG y CRA, lo cual significa que existe un efecto de las interacciones de los ingredientes sobre las propiedades funcionales de las mezclas de proteínas estudiadas. Choi *et al.* (2011) reportan características mejoradas en la formación del gel al agregar fibra de salvado de arroz a proteínas miofibrilares de cerdo solubles en sal.

**Tabla 3.**  
Modelos de regresión.

VARIABLES	Modelos
FG	$2.609 \cdot X_1 - 2.215 \cdot X_1 \cdot X_2 - 1.287 \cdot X_1 \cdot X_3 - 5.47 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3$
CRA	$89.587 \cdot X_1 + 95.271 \cdot X_1 \cdot X_2 + 98.190 \cdot X_1 \cdot X_3$
PPA	$110.784 \cdot X_2 - 167.504 \cdot X_1 \cdot X_2 + 189.355 \cdot X_2 \cdot X_3 - 686.069 \cdot X_1 \cdot X_2 \cdot X_3$
IAE	$0.150 \cdot X_1 + 0.162 \cdot X_2 + 0.179 \cdot X_3 - 0.191 \cdot X_1 \cdot X_2 - 0.130 \cdot X_1 \cdot X_3 - 0.128 \cdot X_2 \cdot X_3$

$X_1$  = PCC;  $X_2$  = CPS y  $X_3$  = PB.  
Fuente: Elaboración propia.

Se desarrollaron análisis de regresión de los datos para establecer modelos que describieran las interacciones entre ingredientes. Términos “no lineales”, tanto cuadráticos como cúbicos, fueron significativos ( $p < 0.05$ ) en algunos modelos de regresión (tabla 3). Esto confirma que las interacciones entre proteínas de los ingredientes fueron importantes. En estos modelos, valores positivos de los coeficientes de regresión parcial para los términos no lineales sugieren un efecto sinérgico de mezclas binarias o terciarias, mientras que valores negativos sugieren efectos antagónicos (Artega *et al.*, 1993). Por ejemplo, el término binario positivo ( $98.190 \cdot X_1 \cdot X_3$ ) en el modelo para CRA indicó que la interacción entre proteínas de los ingredientes (PCC y PB) resultó en una CRA más alta que la esperada en ausencia de interacciones ( $89.587 \cdot X_1$ ). El término positivo  $95.271 \cdot X_1 \cdot X_2$  en el modelo para CRA mostró que las mezclas que contienen PCC y CPS podrían tener valores de CRA más altos que los calculados asumiendo un modelo lineal. Este efecto se observa en la figura 3 (mezclas 4, 5, 7 y 8). En contraste, los términos negativos en los modelos para FG e índice de actividad emulsificante (tabla 3) sugieren que las interacciones entre PCC y PB, PCC y CPS podrían resultar en valores más bajos para estos parámetros que asumiendo un modelo lineal. En las figuras 2 y 4 se observan estos efectos, donde las mezclas que contenían estas proteínas mostraron valores experimentales más bajos que los calculados.

### Superficie de respuesta para las propiedades funcionales de las mezclas

En la tabla 4 se muestran los análisis de superficie de respuesta para las propiedades funcionales de las tres fuentes de proteínas, observándose el tipo de efecto, efecto de factor y los valores óptimos para cada una de las variables respuestas utilizadas en el estudio.

### Fuerza de gel (FG)

Se observó un efecto lineal ( $p < 0.0001$ ) y cuadrático ( $p < 0.001$ ) de los tres factores en el modelo, teniendo mayor influencia ( $p < 0.0001$ ) el componente cárnico, ya que a mayor cantidad de este factor (0.338), mayor fue el valor de FG. Los valores óptimos estimados fueron de 33% de cada componente para obtener la mejor FG (figura 6).

### Capacidad de retención de agua (CRA)

Se encontró un efecto lineal, cuadrático y cruzado ( $p < 0.0001$ ) de los tres componentes en el modelo, observándose un aumento de la CRA en aquellas mezclas

que contenían mayor cantidad de proteína cárnica. Los valores óptimos estimados fueron de 41% de PCC, 30% de CPS y 29% de PB para aumentar al máximo el valor de esta variable. Igualmente, se observó que existe una mayor influencia del componente cárnico (figura 7).

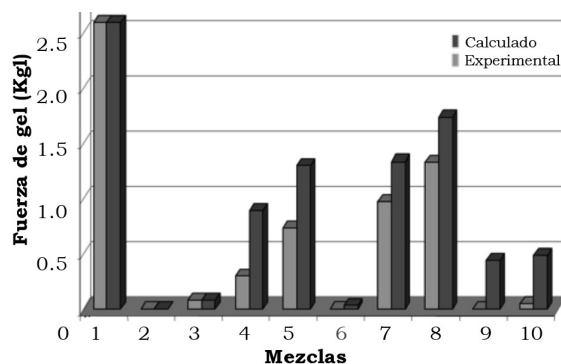


Figura 2. Comparación de valores experimentales y calculados para fuerza de gel. Fuente: Elaboración propia.

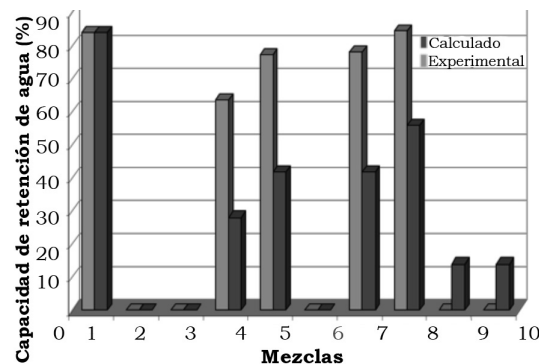


Figura 3. Comparación de valores experimentales y calculados para capacidad de retención de agua. Fuente: Elaboración propia.

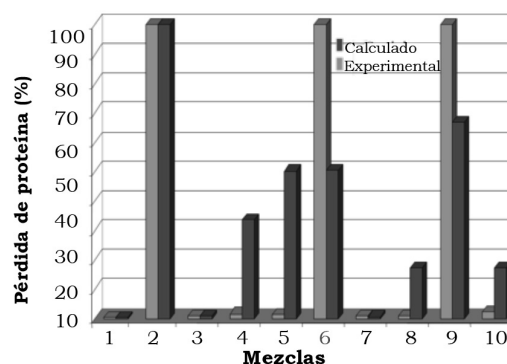


Figura 4. Comparación de valores experimentales y calculados para pérdida de proteína en el agua liberada de los geles. Fuente: Elaboración propia.

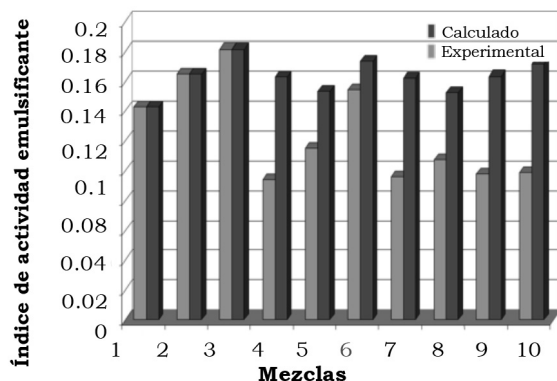


Figura 5. Comparación de valores experimentales y calculados para IAE. Fuente: Elaboración propia.

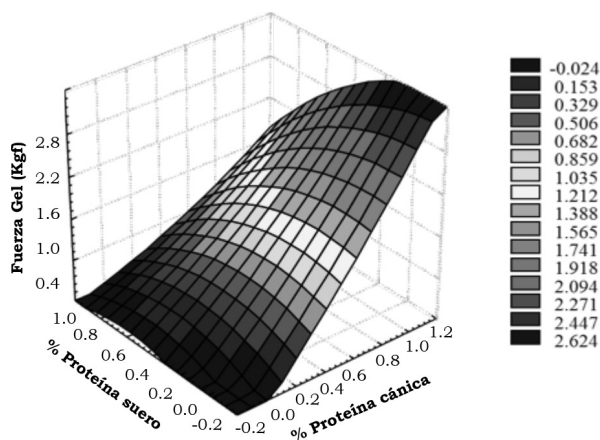


Figura 6. Superficie de respuesta para FG. Fuente: Elaboración propia.

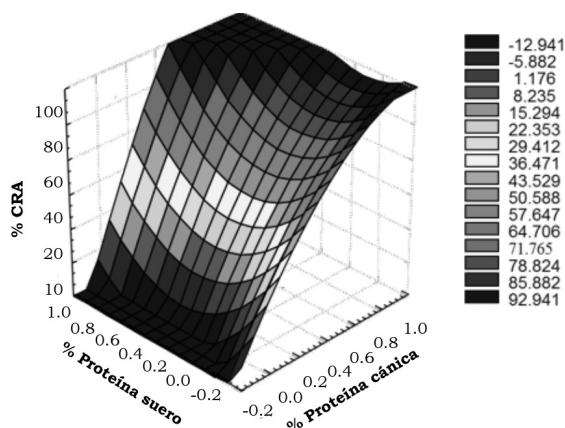


Figura 7. Superficie de respuesta para CRA. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 4. Superficie de respuesta para las propiedades funcionales.

	FG	CRA	PPA	IAE
<b>Tipo de efecto</b>				
Lineal	$p < 0.0001$	$p < 0.0001$	$p < 0.0001$	$p < 0.0001$
Cuadrático	$p < 0.001$	$p < 0.0001$	$p < 0.0001$	$p < 0.0001$
Cruzado	$p < 0.499$	$p < 0.0001$	$p < 0.0001$	$p < 0.0001$
<b>Efecto de factor</b>				
Proteína cárnica	$p < 0.0001$	$p < 0.0001$	$p < 0.0001$	$p < 0.0001$
Suero	$p < 0.01$	$p < 0.0001$	$p < 0.0001$	$p < 0.0001$
Plasma bovino	$p < 0.01$	$p < 0.0001$	$p < 0.0001$	$p < 0.0001$
<b>Valores óptimos</b>				
Proteína cárnica	0.338	0.416	0.747	0.424
Suero	0.332	0.297	0.107	0.251
Plasma bovino	0.329	0.287	0.145	0.324

Fuente: Elaboración propia.

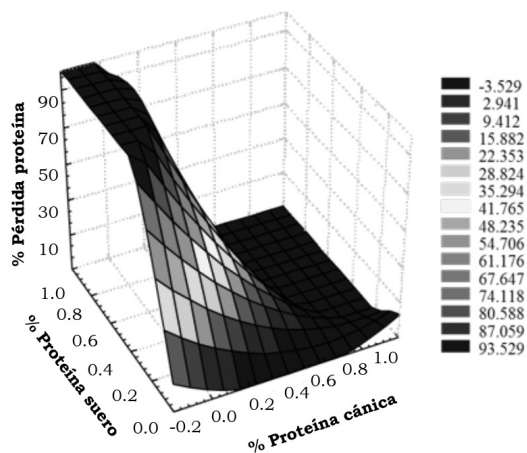


Figura 8. Superficie de respuesta para pérdida de PPA. Fuente: Elaboración propia.

### Pérdida de proteína en el agua liberada de los gels (PPA)

Se encontró un efecto lineal, cuadrático y cruzado ( $p < 0.0001$ ) de los tres componentes proteicos sobre esta variable, observándose que conforme se incrementó la cantidad de CPS y PB, la PPA después de la compresión también se incrementaba (figura 8). Los valores óptimos estimados de los tres factores en el sistema modelo indican que la mezcla debe contener un 75% de proteína cárnica, 10% de CPS y 15% de PB, para poder minimizar el porcentaje de proteína en el agua

liberada. Estos valores indicaron que existe una mayor influencia del componente cárnico sobre esta variable. Esto puede ser atribuido al mayor contenido de este en el modelo.

### Índice de actividad emulsificante (IAE)

Se advirtió el mismo efecto que para fuerza de gel. Los valores óptimos estimados fueron de 42.5% de proteína cárnica, 25.5% de CPS y 32.5% de PB (figura 9).

### CONCLUSIONES

Las interacciones de los ingredientes fueron significativas en las propiedades de las mezclas, e ignorar tales interacciones podría desviar la respuesta esperada en las formulaciones. Para mezclas multi-ingredientes, las propiedades funcionales pueden asumirse de la media de las propiedades funcionales de los ingredientes individuales. No obstante, el uso de modelos matemáticos incorporando términos de interacción (no lineales) y un diseño estadístico adecuado permite obtener ecuaciones confiables que describen las propiedades como una función de la composición de los ingredientes, mejorando la predicción de la calidad final del producto.

La proteína de origen cárnico tuvo gran influencia sobre la FG y la CRA; sin embargo, la mezcla de 50% CPS y 50% PB presentó un buen resultado sobre estas propiedades. Se observó PPA en todas las mezclas donde participó con mayor porcentaje el concentrado de proteína de suero de leche. Todas las mezclas presentaron un efecto favorable sobre el IAE.

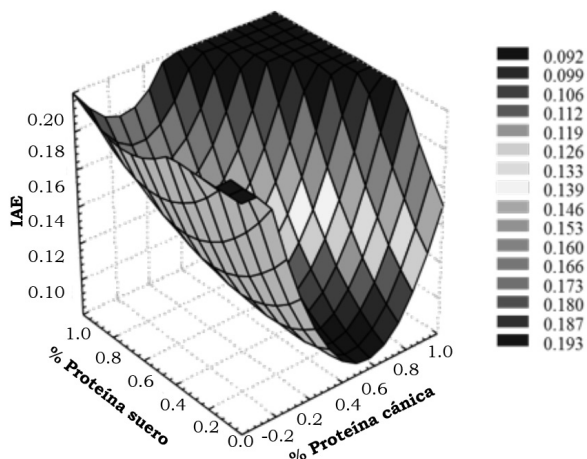


Figura 9. Superficie de respuesta para IAE.  
Fuente: Elaboración propia.

Cabe mencionar que este trabajo experimental se realizó con sistemas modelo donde se utilizaron mezclas puras de proteínas. El siguiente paso sería realizar dicho estudio en productos cárnicos emulsificados (salchichas o bolonias), considerando las mezclas que dieron mejor resultado, y verificar que bajo estas nuevas condiciones se mantengan las características esperadas.

### REFERENCIAS

- Alvarado, M. G. (2006). Efecto de la adición de los derivados de *Lupinus* spp. (aislado, harina y concentrado proteico) sobre las características de textura de salchichas (Tesis de Licenciatura de Ingeniero Agroindustrial). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo: Tulancingo de Bravo, Hidalgo.
- Arteaga, G. E., Li-Chan, E., Nakai, S., Cofrades, S., & Jiménez, F. (1993). Ingredient interaction effects on protein functionality: Mixture design approach. *Journal of Food Science*, 58(3), 656-661.
- Badpa, A., & Ahmad, S. (2014). Effect of whey protein concentrate on quality and shelf life of buffalo meat emulsion sausage. *Scholars Journal of Agriculture and Veterinary Sciences*, 1(4), 201-210.
- Camou, J. P., & Sebranek, J.G. (1991). Effect of non-meat proteins on gelation properties of porcine muscle proteins. *Journal of Muscle Foods*, 2(3), 149-163.
- Carrillo-Bocardo, M. F., Velasco-González, O. H., Gamero-Barraza, M., & Ibarra-Alvarado, M. (2010). Desarrollo de hamburguesa utilizando granza de frijol extrudido (*Phaseolus vulgaris*) como agente extensor. XII Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Guanajuato, Guanajuato.
- Choi, Y. S., Choi, J. H., Han, D. J., Kim, H.Y., Lee, M.A., Kim, H.W., Jeong, J.Y., & Kim, C.J. (2011). Effects of rice bran fiber on heat-induced gel prepared with pork salt-soluble meat proteins in model system. *Meat Science*, 88(1), 59-66.
- Cóccaro, G. (2010). *Desarrollo de nuevos productos. Alimentos funcionales y novel food. Alternativas para el diseño de alimentos y su marco legal*. Recuperado el 27 de diciembre de 2014 de <http://www.alimentosargentinos.gov.ar/contenido/procal/estudios/02/DesarrolloNuevosProductos.pdf>
- Cofrades, S., López-López, I., Solas, M. T., Bravo, L., & Jiménez-Colmenero, F. (2008). Influence of different types and proportions of added edible seaweeds on characteristics of low-salt gel/emulsion meat systems. *Meat Science*, 79(4), 767-776.
- Cornell, J.A. (1990). *Experiments with mixtures: Designs, models and the analysis of mixture data* (2nd. ed.) (pp. 37-61). New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Corona-González, R. I., Ramos-Ibarra, J. R., Gutiérrez-González, P., Pelayo-Ortiz, C., Guatemala-Morales, G. M., & Arriola-Guevara, E. (2013). The use of response surface methodology to evaluate the fermentation conditions in the production of Tepache. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 12(1), 19-28.
- Gornall, A. G., Bardawill, C. J., & David, M. M. (1949). Determination of serum proteins by means of the biuret reaction. *Journal of Biological Chemistry*, 177, 751-766.



- Hayes, J. E., Desmond, E. M., Troy D. J., Buckley, D. J., & Mehra, R. (2007). The effect of enhancement with salt, phosphate and milk proteins on the physical and sensory properties of pork loin. *MeatScience*, 72(3), 380-386.
- Hernández-Díaz, W. N., Hernández-Campos, F. J., Vargas-Galarze, Z., Rodríguez-Jiménez, G. C., & García-Alvarado, M. A. (2013). Coffee Grain Rotary Drying Optimization. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 12(2), 315-325.
- Huerta, A., Chel, L., Castellanos, A., & Betancur, D. (2009). Incorporación en salchichas tipo Frankfurt de mezclas de proteína de (*Phaseolus lunatus L.*) con diferentes almidones. *Revista de la Facultad de Ingeniería Química*, 48, 10-17.
- Isaza-Rengifo, J. M., Londoño-Ramírez, L. M., Restrepo-Molina, D. A., Cortes-Rodríguez, M., & Suárez-Mahecha, H. (2010). Producción y propiedades funcionales de plasma bovino hidratado en embutido tipo salchichón. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 23(2), 199-206.
- McCord, A., Smyth, A. B., & O'Neill, E. E. (1998). Heat-induced gelation properties of salt-soluble muscle proteins as affected by non-meat proteins. *Journal of Food Science*, 63(4), 580-583.
- Morshedi, A., & Akbarian, M. (2014). Application of response surface methodology: design of experiments and optimization: a mini review. *Indian Journal of Fundamental and Applied Life Sciences*, 4(S4), 2434-2439. Recuperado el 25 de septiembre de 2014 de <http://www.cibtech.org/sp.ed/jls/2014/04/JLS-280-S4-282-AKBARIAN-APPLICATION-REVIEW.pdf>
- Sammel, L. M., Claus, J. R., Greaser, M. L., & Lucey, J. A. (2007). Identifying constituents of whey protein concentrates that reduce the pink color defect in cooked ground turkey. *Meat Science*, 77(4), 529-539.
- Tarté, R. (2008). Properties, Functionality and Applications. En *Ingredients in Meat Products*. USA: Springer.
- Téllez-Mora, P., Peraza-Luna, F. A., Feria-Velasco, A., & Andrade-González, I. (2012). Optimización del proceso de fermentación para la producción de tequila, utilizando la metodología de superficie de respuesta (MSR). *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 11(1), 163-176.