

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



**“EFECTO DE LA ADICIÓN DE ALBÚMINA DE HUEVO EN UN GEL
CÁRNICO DE PORCINO”**

Presentado por:

MARICELLA VANIA BECERRA BONILLA

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Lima – Perú

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

**“EFECTO DE LA ADICIÓN DE ALBÚMINA DE HUEVO EN UN GEL CÁRNICO
DE PORCINO”**

Presentado por:

MARICELLA VANIA BECERRA BONILLA

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

Sustentada y aprobada por el siguiente jurado:

**Dr. David Campos Gutiérrez
PRESIDENTE**

**Mg. Sc. Carlos Elías Peñafiel
MIEMBRO**

**Dra. Patricia Glorio Paulet
MIEMBRO**

**Dra. Bettit K. Salvá Ruíz
ASESORA**

**Mg. Sc. Christian R. Encina Zelada
CO-ASESOR**

Lima – Perú
2018

DEDICATORIA

*A mis padres,
por haberme dado la fuerza, la confianza
y el apoyo incondicional
que me han ayudado y llevado
hasta donde estoy ahora.*

AGRADECIMIENTO

- A mis asesores, por inculcarme la gran importancia de la investigación, por compartir sus conocimientos, por su paciencia y dedicación para la realización de esta Tesis.
- Y a todas aquellas personas, familiares y amigos que participaron directa o indirectamente en la elaboración de esta tesis.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN

ABSTRACT

I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 GELES CÁRNICOS	3
2.1.1 GENERALIDADES	3
2.1.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS GELES CÁRNICOS	4
2.1.3 GELES MULTICOMPONENTES	5
2.2 PROPIEDADES FUNCIONALES DE LAS PROTEÍNAS	7
2.2.1 CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA (CRA)	8
2.2.2 CAPACIDAD DE GELIFICACIÓN (CG)	11
2.2.3 TEXTURA	12
2.2.4 COLOR.....	13
2.3 PROTEÍNAS DE LA CARNE	14
2.4 UTILIZACIÓN DE LA SOYA EN PRODUCTOS CÁRNICOS.....	16
2.5 PROTEÍNAS DEL HUEVO	19
2.5.1 GENERALIDADES	19
2.5.2 ALBÚMINA DE HUEVO	20
2.5.3 GELIFICACIÓN DE LAS PROTEÍNAS DEL HUEVO	22
2.5.4 ALBÚMINA DE HUEVO EN POLVO.....	23
2.6 DISEÑO DE MEZCLAS	25
2.6.1 DEFINICIÓN	25
2.6.2 CARACTERÍSTICAS Y RESTRICCIONES DEL DISEÑO DE MEZCLAS.....	26
2.6.3 DISEÑO DE TRATAMIENTOS PARA MEZCLAS.....	29
2.6.4 POLINOMIOS EMPLEADOS EN EL DISEÑO DE MEZCLAS.....	30
2.6.5 APLICACIONES DEL DISEÑO DE MEZCLAS	31
III. MATERIALES Y MÉTODOS	32
3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN	32
3.2 MATERIA PRIMA E INSUMOS	32
3.2.1 MATERIA PRIMA	32
3.2.2 INSUMOS	32

3.3 MATERIALES Y EQUIPOS	33
3.3.1 MATERIALES.....	33
3.3.2 EQUIPOS	33
3.4 MÉTODOS DE ANÁLISIS Y EVALUACIÓN	34
3.4.1 ANÁLISIS PROXIMAL	34
3.4.2 ANÁLISIS DE PROPIEDADES TECNOLÓGICAS.....	36
3.5 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	38
3.5.1 ELABORACIÓN DEL GEL CÁRNICO DE PORCINO.....	38
3.5.2 DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	40
3.5.3 DETERMINACIÓN DEL POLINOMIO CANÓNICO DE SCHEFFÉ Y EFECTO DE LOS INGREDIENTES PARA LA PÉRDIDA DE AGUA POR PRESIÓN, DUREZA Y COLOR DEL GEL CÁRNICO	43
3.5.4 OPTIMIZACIÓN SIMULTÁNEA DE RESPUESTAS	46
3.5.5 CARACTERIZACIÓN DEL GEL PATRÓN Y LA FORMULACIÓN ÓPTIMA.	48
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	49
4.1 ANÁLISIS PROXIMAL DE LOS INGREDIENTES PRINCIPALES	49
4.1.1 CARNE DE PIERNA DE CERDO	49
4.1.2 CLARA ALTO GEL	49
4.1.3 CONCENTRADO FUNCIONAL DE SOYA.....	50
4.2 EFECTO DE LOS INGREDIENTES SOBRE LA PÉRDIDA DE AGUA POR PRESIÓN, DUREZA Y COLOR DEL GEL CÁRNICO DE PORCINO	51
4.2.1 PÉRDIDA DE AGUA POR PRESIÓN	51
4.2.2 DUREZA DEL GEL	58
4.2.3 COLOR DEL GEL.....	65
4.3 OPTIMIZACIÓN SIMULTÁNEA DE RESPUESTAS	72
4.4 CARACTERIZACIÓN DE LA FORMULACIÓN ÓPTIMA	72
V. CONCLUSIONES.....	78
VI. RECOMENDACIONES.....	80
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
VIII. ANEXOS.....	88

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Funcionalidad requerida de las proteínas para ser usadas en la elaboración de alimentos.....	8
Cuadro 2: Productos de soya utilizados para la elaboración de distintos productos cárnicos	18
Cuadro 3: Aplicaciones basadas en las propiedades funcionales del huevo	19
Cuadro 4: Principales características físico-químicas de la proteínas del albumen	21
Cuadro 5: Fórmula de referencia para la elaboración del gel cárnico (%).....	38
Cuadro 6: Restricciones sobre los ingredientes del gel cárnico principal	40
Cuadro 7: Formulaciones del gel cárnico de porcino	41
Cuadro 8: Análisis proximal de la pierna de cerdo	49
Cuadro 9: Análisis proximal de la clara alto gel	50
Cuadro 10: Análisis proximal del concentrado funcional de soya	50
Cuadro 11: Valores observados y estimados de la pérdida de agua por presión de las formulaciones experimentales de los geles cárnicos	51
Cuadro 12: Análisis de varianza (ANVA) de la ecuación de regresión para la pérdida de agua por presión	52
Cuadro 13: Prueba de significancia de los coeficientes de la ecuación de regresión para la pérdida de agua por presión del gel cárnico	54
Cuadro 14: Valores observados y estimados de la dureza de las formulaciones experimentales de los geles cárnicos	59
Cuadro 15: Análisis de varianza (ANVA) de la ecuación de regresión para la dureza del gel	60
Cuadro 16: Prueba de significancia de los coeficientes de la ecuación de regresión para la dureza del gel cárnico	61
Cuadro 17: Valores observados y estimados del color de las formulaciones experimentales de los geles cárnicos	66
Cuadro 18: Análisis de varianza (ANVA) de la ecuación de regresión para el color del gel	67
Cuadro 19: Prueba de significancia de los coeficientes de la ecuación de regresión para la dureza del gel cárnico	67
Cuadro 20: Características del gel patrón.....	72

Cuadro 21: Fórmula para la elaboración del gel cárnico con concentrado funcional de soya (gel patrón) (%)	85
Cuadro 22: Fórmula óptima para la elaboración del gel cárnico con albúmina de huevo (%)	73
Cuadro 23: Análisis proximal del gel cárnico elaborado con concentrado funcional de soya y con albúmina de huevo	74
Cuadro 24: Componentes y porcentajes de carne, agua y soya o albúmina en la formulación del gel cárnico de porcino	75
Cuadro 25: Comparación de las características fisicoquímicas y tecnológicas del gel cárnico elaborado con concentrado funcional de soya y con albúmina de huevo deshidratada	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Representación de la estructura de un gel multicomponente: (a) Relleno, (b) Compuesto y (c) Mixto.....	7
Figura 2: Esquema de la gelificación térmica de las proteínas del albumen.....	22
Figura 3: Proceso de obtención de proteína de albúmina de huevo en polvo	24
Figura 4: Espacio factorial restringido para mezclas con tres componentes ($p=3$).....	27
Figura 5: Sistema coordinado trilineal.....	28
Figura 6: (a) Diseño simplex laticce y (b) Diseño simplex con centroide ampliado	30
Figura 7: Diagrama de flujo de operaciones para la elaboración de un gel cárnico.....	39
Figura 8: Superficie de respuesta para la pérdida de agua por presión del gel cárnico en función del porcentaje de carne de porcino (x_1), agua (x_2) y albúmina de huevo (x_3).....	55
Figura 9: Ploteo de contornos de la superficie de respuesta para la pérdida de agua por presión del gel cárnico.....	56
Figura 10: Trazos de cox para evaluar el efecto de cada ingrediente sobre la pérdida de agua por presión del gel cárnico.....	77
Figura 11: Superficie de respuesta para la dureza del gel cárnico en función del porcentaje de carne de porcino (x_1), agua (x_2) y albúmina de huevo (x_3).....	62
Figura 12: Ploteo de contornos de la superficie de respuesta para la dureza del gel cárnico.....	63
Figura 13: Trazos de cox para evaluar el efecto de cada ingrediente sobre la dureza del gel cárnico	64
Figura 14: Superficie de respuesta para la dureza del gel cárnico en función del porcentaje de carne de porcino (x_1), agua (x_2) y albúmina de huevo (x_3).....	69
Figura 15: Ploteo de contornos de la superficie de respuesta para el color del gel cárnico	70
Figura 16: Trazos de cox para evaluar el efecto de cada ingrediente sobre el color del gel cárnico	71
Figura 17: Comparación del porcentaje de carne y agua (hielo) de los geles elaborados con concentrado funcional de soya y albúmina de huevo	76

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: RESULTADOS DE <i>COOKING LOSS</i> Y RENDIMIENTO DE LAS FORMULACIONES EXPERIMENTALES DEL GEL CÁRNICO	88
ANEXO 2: RESULTADOS DE LA PÉRDIDA DE AGUA POR PRESIÓN DE LAS FORMULACIONES EXPERIMENTALES DEL GEL CÁRNICO	90
ANEXO 3: RESULTADOS DE LA DUREZA DE LAS FORMULACIONES EXPERIMENTALES DEL GEL CÁRNICO	92
ANEXO 4: RESULTADOS DEL COLOR DE LAS FORMULACIONES EXPERIMENTALES DEL GEL CÁRNICO	94
ANEXO 5: INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE 2 POR CIENTO DE CONCENTRADO FUNCIONAL DE SOYA Y 0,58 POR CIENTO SOBRE LA COMPOSICIÓN PROXIMAL DEL GEL CÁRNICO	96
ANEXO 6: INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE 2 POR CIENTO DE CONCENTRADO FUNCIONAL DE SOYA Y 0,58 POR CIENTO SOBRE LA COMPOSICIÓN PROXIMAL DEL GEL CÁRNICO.....	97
ANEXO 7: INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE 2 POR CIENTO DE CONCENTRADO FUNCIONAL DE SOYA Y 0,58 POR CIENTO SOBRE LA COMPOSICIÓN PROXIMAL DEL GEL CÁRNICO.....	98
ANEXO 8: INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE 2 POR CIENTO DE CONCENTRADO FUNCIONAL DE SOYA Y 0,58 POR CIENTO SOBRE LA COMPOSICIÓN PROXIMAL DEL GEL CÁRNICO	99
ANEXO 9: INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE 2 POR CIENTO DE CONCENTRADO FUNCIONAL DE SOYA Y 0,58 POR CIENTO SOBRE LAS PROPIEDADES FISICO-QUÍMICAS DEL GEL CÁRNICO.....	100
ANEXO 10: INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE 2 POR CIENTO DE CONCENTRADO FUNCIONAL DE SOYA Y 0,58 POR CIENTO SOBRE LAS PROPIEDADES FISICO-QUÍMICAS DEL GEL CÁRNICO.....	101
ANEXO 11: INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE 2 POR CIENTO DE CONCENTRADO FUNCIONAL DE SOYA Y 0,58 POR CIENTO SOBRE LAS PROPIEDADES FISICO-QUÍMICAS DEL GEL CÁRNICO.....	102

RESUMEN

El presente trabajo se realizó con la finalidad de determinar el efecto de la adición de la albúmina de huevo deshidratada sobre la retención de agua, dureza y color de un gel cárnico de porcino aplicando el método de diseño de mezclas. Se evaluó en una primera etapa la composición proximal de los ingredientes de la masa principal: carne de porcino, agua y albúmina de huevo (Clara Alto Gel). A dichos componentes se les aplicó un Diseño de Mezclas *D-Optimal* con restricciones mínimas y máximas sobre los porcentajes de los mismos. En una segunda etapa, se definieron las formulaciones experimentales (16 en total), en donde se evaluaron las variables respuestas para cada formulación (pérdida de agua por presión, dureza y color del gel). Luego de ello, se estimaron los Modelos Polinomiales Canónicos de Scheffé, evaluándose la influencia de cada componente sobre las variables respuestas antes mencionadas; utilizando los gráficos denominados “Trazos de Cox”. En la tercera etapa se optimizaron las variables respuestas utilizando el criterio de deseabilidad global, cuyas restricciones estuvieron dadas por los valores obtenidos con el gel cárnico de porcino elaborado con la adición de concentrado funcional de soya (gel patrón). Estos valores fueron: 1) pérdida de agua por presión igual a 51,85 por ciento, 2) dureza igual a 13,22 N y 3) color (a^*) igual a 2,06. La formulación óptima presentó un 25,54 por ciento de carne de porcino, 73,88 por ciento de agua y 0,58 por ciento de albúmina de huevo respecto a la masa principal con una deseabilidad de 0,653. Finalmente se caracterizó tanto el gel patrón y el gel con la formulación óptima.

Palabras clave: Albúmina de huevo, retención de agua, dureza, color, gel cárnico, concentrado funcional de soya

ABSTRACT

The present thesis was carried out in order to determine the effect of the addition of dehydrated egg albumin on the retention of water, hardness and color of a pig meat gel using the mix design method. First, the proximal composition of the ingredients of the main dough was evaluated: porcine meat, water and egg albumin. To these components, a D-Optimal Mix Design with minimum and maximum restrictions on the percentages of them was applied. In a second stage, the experimental formulations were defined (16 in total), where the variable responses for each formulation were evaluated (loss of water by pressure, hardness and color of the gel). After that, Scheffé's canonical polynomial models were estimated, evaluating the influence of each component on the aforementioned variables; using the graphics called "Cox Traces". In the third stage, the response variables were optimized using the global desirability criterion, whose restrictions were given by the values obtained with the porcine meat gel made with the addition of soy functional concentrate (standard gel). These values were: 1) water loss by pressure equal to 51.85 percent, 2) hardness equal to 13.22 N and 3) color (a^*) equal to 2.06. The optimal formulation presented 25.54 percent of porcine meat, 73.88 percent of water and 0.58 percent of egg albumin with respect to the main mass with a desirability of 0.653. Finally, both the standard gel and the gel with the optimal formulation were characterized.

Keywords: Egg albumin, water retention, hardness, color, meat gel, soy functional concentrate

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, las proteínas, tanto de origen vegetal como de origen animal, son utilizadas con éxito en la industria cárnica, como reemplazo de la proteína de la carne, debido a sus propiedades funcionales como capacidad de emulsificación, capacidad de retención de agua, adhesión, cohesión, textura y también influyen en el sabor y apariencia del producto (Hoogenkamp, Shand y Schmidt, Whiting; citado por Pietrasik, 2003).

Las razones por las cuales se añaden proteínas no cárnicas a productos cárnicos crudos y tratados con calor son las siguientes: (1) reducción del contenido de grasa del producto, (2) mejora de las características de la carne, (3) reducción del precio de la carne, (4) beneficios sobre la salud y (5) propiedades para estabilizar la emulsión carne-grasa, entre otros (Castro, 2008).

Las proteínas no cárnicas más frecuentemente añadidas a productos cárnicos son las proteínas de soja y el gluten de trigo (de origen vegetal); así como las proteínas lácteas y las proteínas de huevo (de origen animal). Las proteínas de la sangre pueden también añadirse, aunque éstas se utilizan en mucha menor extensión (Castro, 2008).

De todas estas proteínas, las más utilizadas sin duda en la elaboración de productos cárnicos han sido las proteínas de soya, debido a sus propiedades nutritivas, propiedades funcionales y fundamentalmente por su bajo costo. Éstas pueden ser añadidas en forma de harina, texturizado o aislado de soya, con contenidos aproximados de 50, 70 y 90 por ciento de proteína (Castro, 2008).

Sin embargo, son pocos los estudios realizados acerca del empleo de proteína de origen animal, como la albúmina de huevo, en reemplazo de la proteína de carne. La albúmina de huevo, también llamada Clara Alto Gel, es un producto obtenido por un proceso de *spray dry*, a través de la selección de su materia prima, hasta obtener un producto en polvo con un contenido mínimo de 80 por ciento de proteína y características que permitan establecer una comparación con las propiedades funcionales de la proteína de carne (Franco, 2007).

Tomando en cuenta que el huevo es un producto de alto valor nutritivo (rico en los siguientes aminoácidos: (a) lisina, (b) metionina y (c) triptófano), y que, en la elaboración de ovoproductos, la yema tiene una amplia aplicación en la industria alimentaria (panetones, bollería, mayonesa, salsas, entre otros), habiendo siempre un desbalance de producción de clara (cuya cantidad en un huevo es aproximadamente el doble que la yema) y considerando que recientemente la clara se deshidrata en el país, dejando de ser un producto importado. Así, esta investigación busca incluir la albúmina de huevo en geles cárnicos, comparando sus propiedades con las otorgadas por el concentrado funcional de soya, el cual ha sido cuestionado por su origen transgénico.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 GELES CÁRNICOS

2.1.1 GENERALIDADES

Un gel es una fase intermedia entre un sólido y un líquido. Se obtiene por entrecruzamiento de polímeros mediante enlaces covalentes o no covalentes, para formar una red capaz de atrapar el agua y otras sustancias de bajo peso molecular. Entre las matrices alimentarias familiares que atrapan agua de este modo, figuran los geles de pectina y de almidón, así como las células de los tejidos, tanto vegetales como animales (Fennema, 2000).

Una característica muy peculiar, tanto de las proteínas de la leche, como las del huevo, de la carne, de la soya, del pescado y algunas otras, es que establecen geles, ya sea mediante la adición de iones divalentes (calcio), por un calentamiento de la suspensión correspondiente y después enfriamiento, o por acción enzimática (la renina en la fabricación de quesos) (Badui, 2006).

Los geles proteicos son sistemas muy hidratados, que contienen hasta un 98 por ciento de agua. El agua atrapada en estos geles tiene un potencial químico (actividad) similar al del agua de las disoluciones acuosas, pero carece de fluidez y no puede ser expulsada fácilmente por estrujamiento (Fennema, 2000).

La gelificación proteica consiste en la transformación de una proteína en estado “sol” a estado de “gel”. Esta transformación se ve facilitada por el calor, las enzimas o los cationes divalentes, en condiciones adecuadas. Todos estos agentes inducen la formación de una estructura en red tridimensional (Fennema, 2000).

Es un proceso complejo que lleva consigo, en un primer paso, un desdoblamiento o desnaturalización de las proteínas, para después favorecer la interacción proteína-proteína,

que da origen a la estructura tridimensional ordenada, donde quedan retenidos el agua, los glóbulos de grasa, las sales y otras sustancias de bajo peso molecular (Badui, 2006). Cuando se enfría a la temperatura ambiente, o a la temperatura de refrigeración, el descenso de la energía cinética térmica facilita la formación de enlaces no covalentes estables entre los grupos funcionales expuestos de diversas moléculas; esto es lo que constituye la gelificación (Fennema, 2000). Ngarize *et al.* (2005) indican que la gelificación de las proteínas se utiliza para obtener o mejorar la consistencia de un producto alimenticio.

2.1.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS GELES CÁRNICOS

Las piezas de carne de tamaños variables, desde trozos grandes hasta copos y partículas, se pueden compactar unas contra otras para simular la apariencia y textura de productos a base de un solo músculo, o crear nuevos productos con texturas similares. Lo más común es que la ligazón entre las piezas de carne en las carnes procesadas reformadas o reestructuradas se realice por gelificación inducida por el calor de las proteínas miofibrilares solubles (Fennema, 2000).

La capacidad de las proteínas miofibrilares de la carne para formar un gel fuerte inducido por el calor requiere una buena dispersión de las proteínas y reactividad de superficie, esto es, la disponibilidad de lugares favorables para las interacciones proteína-proteína. La dispersión depende del hinchamiento y disolución de las proteínas por la sal y de la utilización de un equipo adecuado de picado/mezclado (Fennema, 2000).

La primera fase de la preparación de productos cárnicos de partícula fina consiste en la obtención de partículas de tejido muscular en presencia de sal. Las carnes, finamente picadas en presencia de sal, están formadas por una matriz de fibras hinchadas, miofibrillas y de proteínas miofibrilares solubilizadas. Embebidos en esta matriz están los componentes de la carne, especialmente la grasa y el tejido conjuntivo, además de cualquier otro ingrediente añadido a la fórmula del producto (Fennema, 2000).

Los productos elaborados con músculo finamente picado, como las salchichas tipo Bolonia, las Frankfurt y la imitación de carne de cangrejo, se funden en la gelificación inducida por el calor para construir su estructura y textura (Fennema, 2000). De otra parte,

Fischer (1994) indica que la pasta de los embutidos escaldados es un complejo sistema que consta de una solución verdadera, una solución coloidal (gel), suspensión, emulsión y espuma.

Franco (2007) menciona que, debido a la gelificación de las proteínas de la carne, los geles cárnicos son productos de notable solidez y compacticidad. Badui (2006) señala que los geles de la carne son más estables cuando se inducen entre 60 y 70 °C.

2.1.3 GELES MULTICOMPONENTES

Además de la carne se pueden añadir grasa, almidón/hidrocoloides y proteínas no cárnicas para la formación del gel y, por tanto, se consideran como geles multicomponentes. En éstos, la red del gel está formada primariamente por miosina o actomiosina desnaturalizadas que engloban otros ingredientes y juegan un papel dominante en la determinación de las propiedades textuales (Fennema, 2000). Pietrasik *et al.* (2005) mencionan que la interacción entre proteínas musculares y no musculares que ocurren en los sistemas biológicos juega un papel importante en las propiedades funcionales de estos sistemas. Foegeding (1988) considera a las salchichas y otros productos con carne finamente triturada como geles multicomponentes.

Las proteínas no cárnicas pueden interactuar directamente con las proteínas de la carne, ocupando los espacios intersticiales en una matriz de gel (Lanier; citado por Pietrasik *et al.*, 2007). El componente de relleno (no miofibrilar) puede formar una segunda matriz en el interior de la matriz de proteínas del músculo o puede interactuar directamente con la proteína muscular, para formar una matriz sencilla de composición mixta. Se sabe poco de la compatibilidad de fase de las proteínas del músculo con otras proteínas o ingredientes alimentarios o de las consecuencias de estas interrelaciones sobre la calidad de los productos cárnicos picados finamente (Fennema, 2000).

Tolstoguzov *et al.*; citado por Foegeding (1988), definen tres tipos de geles multicomponentes: (a) rellenos, (b) compuestos y (c) mixtos.

a. Geles multicomponentes rellenos

En geles rellenos (Figura 1a), una macromolécula está formando la matriz de gel mientras que las otras moléculas actúan como relleno dentro de los espacios intersticiales. Las moléculas de relleno pueden afectar ciertas propiedades de textura y/o ligantes de agua. Un gel de relleno se forma cuando el almidón o una proteína no gelificante se añade a pasta de carne (Foegeding y Lanier; citado por Foegeding, 1988).

b. Geles multicomponentes compuestos

Un gel compuesto tiene una matriz producida por las interacciones entre más de un componente (Figura 1b). Por ejemplo, fibrinógeno interactúa con la miosina durante la gelificación y este daría lugar a un gel de complejo cuando el plasma sanguíneo se añade a carnes trituradas (Foegeding *et al.*; citado por Foegeding, 1988).

c. Geles multicomponentes mixtos

Los geles mixtos (Figura 1c) son aquellos en los que las macromoléculas gelificantes forman independientemente dos o más redes tridimensionales, sin interacciones entre polímeros. La formación de geles mixtos en las pastas de carne requiere gelificación independiente dentro de las diferentes fracciones de proteínas musculares, o la adición de un agente gelificante no cárnico (Foegeding, 1988). Algunos estudios sobre este problema muestran que las propiedades mecánicas de un gel mixto dependen fuertemente del grado de interacción entre la fase continua proteica (es decir, miofibrilar) y la fase dispersa (es decir, grasa, proteínas no cárnicas e hidrocoloides), y también dependen fuertemente de la distribución y volumen de la fase dispersa en la matriz del gel (Fennema, 2000).

Actualmente, las proteínas no cárnicas se utilizan frecuentemente como una alternativa de agentes gelificantes en los productos cárnicos para mejorar el rendimiento y la textura mediante la mejora de la retención de agua (Foegeding y Lanier; citado por Pietrasik *et al.*, 2007).

En la Figura 1, se muestra gráficamente la estructura de un gel multicomponente.

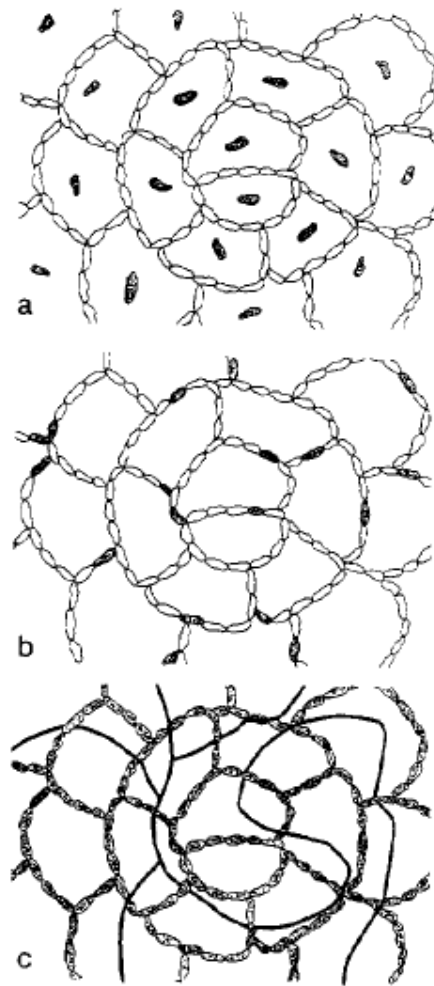


Figura 1: Representación de la estructura de un gel multicomponente: (a) Relleno, (b) Compuesto y (c) Mixto.

FUENTE: Foegeding (1988).

2.2 PROPIEDADES FUNCIONALES DE LAS PROTEÍNAS

En los últimos años se han desarrollado diversas técnicas para la extracción y purificación de las proteínas de la leche, de la soya, del huevo, de la sangre etc., de esta manera, las proteínas se usan comercialmente en la fabricación de otros alimentos debido precisamente a que confieren sus propiedades químicas y físicas a los productos que se emplean (Badui, 2006).

En términos generales, las propiedades funcionales se definen como “cualquier propiedad fisicoquímica de las proteínas que afecta y modifica algunas características de un alimento y que contribuye a la calidad final del producto”. Por ejemplo, son propiedades funcionales

la hidratación, el espumado, la emulsificación, la gelificación, etc. (Badui, 2006). En el Cuadro 1 se puede observar las propiedades funcionales de las proteínas que son necesarias para la elaboración de determinados alimentos.

Cuadro 1: Funcionalidad requerida de las proteínas para ser usadas en la elaboración de alimentos

	<i>Nutrición</i>	<i>Hidratación</i>	<i>Emulsificación</i>	<i>Espumado</i>	<i>Elasticidad térmica</i>	<i>Interacción con otros componentes</i>	<i>Solubles</i>	<i>Sin sabor</i>	<i>Baja viscosidad</i>	<i>Alta viscosidad</i>	<i>Estable al calor</i>	<i>Estable al congelamiento</i>	<i>Estable al ácido</i>	<i>Alta pureza microbiológica</i>
Alimentos infantiles	•		•			•	•	•	•		•			•
Panificación		•		•		•		•	•		•			
Bebidas														
Carbonatadas	•					•	•	•	•		•	•	•	•
Sustitutos de crema			•			•	•	•	•		•	•		•
Dietéticas	•	•	•			•	•	•	•		•	•		•
Dulces		•	•			•		•	•	•			•	
Carnes enlatadas		•	•		•	•			•		•			•
Cereales	•				•	•		•	•		•			
Postres		•		•		•	•	•		•	•	•		•
Alimentos congelados			•	•		•		•				•		
Pastas		•				•		•	•		•			
Carnes procesadas		•	•		•	•		•		•	•	•	•	•
Botanas		•	•		•	•		•			•			•

FUENTE: Badui (2006).

2.2.1 CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA (CRA)

La capacidad de retención de agua se refiere a la resistencia opuesta por una matriz proteica (como un gel, la carne o el pescado) a perder, bajo la acción de la fuerza gravitatoria, el agua inmovilizada, que es la suma del agua ligada, del agua hidrodinámica y del agua físicamente atrapada (Fennema, 2000).

Madrid (1999) define a la capacidad de retención de agua como la capacidad de la carne de retener el agua, tanto propia como la añadida durante la aplicación de fuerzas externas, tales como cortes, calentamiento, trituración y prensado. Otros autores distinguen entre la CRA (capacidad de retención de agua) como capacidad de retener el agua propia y la CLA (capacidad de ligar agua) como capacidad para retener el agua añadida (Carballo y López de Torre, 1991).

Al igual que en el músculo cárnico, en los geles también se cree que las fuerzas capilares son importantes en la CRA, provocadas por los poros de la matriz proteica. Mientras más fina es la microestructura formada, más pequeños serán los poros y mayor será la fuerza capilar para retener el agua (Mitchell y Ledwards; citado por Paredes, 2002).

Cuando las proteínas presentes tienen poca CRA, las pérdidas de humedad y, consecuentemente, de peso durante su almacenamiento (mermas) es grande. La CRA influye sobre la jugosidad, textura y color de los productos cárnicos, determina pérdidas de peso durante la cadena de distribución y transformación, para elevar la capacidad de retención de agua, se adicionan productos ligantes y emulsificantes, los cuales, como su nombre lo indica, ligan agua a la pasta (Franco, 2007).

La CRA de la carne también depende de la especie, del individuo y del músculo, así se puede decir que la carne de cerdo tiene mayor CRA que la carne de vacuno, ésta es igual a la de caballo, y mucho menor es la CRA de la carne de ave. En el caso de la edad, la carne de animales jóvenes tiene mayor CRA que la carne de animales viejos. La variabilidad de la CRA en la misma especie también es alta, así cerdos criados bajo las mismas condiciones presentan mayor variabilidad de la CRA que vacunos criados bajo las mismas condiciones (Price y Shweigert; citado por Paredes, 2002). La capacidad de retención de agua tiene importancia en la carne de consumo fresco directo y en geles cárnicos (embutidos y reestructurados) (Paredes, 2002).

Fischer (1994) menciona algunos métodos para la determinación de la capacidad de retención de agua:

a. Método de centrifugación

El material a analizar se homogeniza primero, con o sin adición de agua, y se somete después, refrigerado o no, a una centrifugación durante un determinado tiempo y a un número de revoluciones también determinado. La capacidad de absorción de agua se calcula a través de la cantidad separada de líquido o del peso de los residuos de centrifugación.

b. Método de compresión

El material a analizar se deposita sobre un papel filtro y se comprime entre dos planchas. De esta forma se extrae el agua “libre”. Empleando un papel filtro, previamente preparado para retener el líquido expulsado, se puede determinar el líquido expulsado cuantitativamente. La medida de la capacidad de absorción de agua viene dada por la diferencia entre la cantidad total de agua y la cantidad de agua “libre”.

El método de compresión se puede realizar con material desmenuzado o sin desmenuzar, con material calentado o sin calentar y con o sin adición de agua. El procedimiento es simple, el resultado se mantiene en forma de imagen sobre de papel de filtro.

c. Pérdidas por cocción

La capacidad de retención de agua de los productos cárnicos crudos está en correlación con las pérdidas que experimentan al calentarse, pero no siempre son idénticas. La repetibilidad y la comparabilidad dependen de los siguientes factores: (1) peso de la muestra, (2) forma de la muestra, (3) grado de desmenuzamiento de la muestra, (4) tipo de agua, (5) temperatura de cocción, (6) tiempo de cocción, (7) tiempo de enfriamiento, escurrido y (8) humedad relativa del aire.

Onega (2003) denomina a este método “pérdidas por cocinado” o “*cooking loss*”. Menciona que se determina el fluido liberado tras el calentamiento de la carne, sin aplicar fuerzas externas. El resultado de esta técnica se expresa como el porcentaje que supone el peso perdido respecto del peso inicial de la muestra.

Tarky; citado por Paredes (2002); señala que la CRA del gel también puede ser expresada como pérdidas por cocción.

2.2.2 CAPACIDAD DE GELIFICACIÓN (CG)

La formación de un gel de carne comprende la desnaturalización de la proteína bajo condiciones específicas de calentamiento. La desnaturalización de las proteínas del músculo, especialmente la miosina, en otras condiciones, como las existentes en el tejido original, puede interferir con la formación del gel (Fennema, 2000).

La integridad física del gel es mantenida por las fuerzas balanceadas de atracción y repulsión entre las moléculas de polímeros (Ziegler y Foegeding; citado por Totosaus, 2001). El mecanismo de gelificación está determinado por el balance entre las fuerzas gobernantes de las interacciones cadena-cadena (o proteína-proteína) y cadena-solvente (o proteína solvente) (Cheftel *et al.*, Kinsella *et al.*, Matsumura y Mori, Zayas; citado por Totosaus, 2001).

Las propiedades específicas de cualquier producto gelificado dependen de muchos factores, como el origen del músculo, el estado bioquímico del mismo y de las variables del procesado, entre otros. La miosina es el componente más importante del tejido muscular con respecto a la capacidad formadora de gel. La actina colabora en este proceso formando F-actomiosina, que a su vez interacciona con la miosina libre. Las porciones de cola y cabeza de las moléculas de miosina juegan distintos papeles durante la gelificación del músculo picado inducida por calor. La porción de cabeza de la molécula de miosina se agrega irreversiblemente debido a la oxidación de los grupos -SH y a interacciones hidrofóbicas. Esta agregación contribuye a la formación de la red proteica tridimensional. La porción cola de la molécula de miosina sufre una transición parcialmente irreversible desde hélice a espiral durante el proceso de calentamiento y a continuación, participa en la formación de la red tridimensional (Fennema, 2000).

Las propiedades de gelificación de las pastas de carne de cerdo son dependientes de conformación de las proteínas y de los enlaces intermoleculares. La interacción hidrofóbica, enlaces disulfuro y enlaces no disulfuro covalentes juegan un papel importante en la gelificación. Para el gel de carne de porcino, la formación de enlaces disulfuro principalmente ocurren principalmente entre los 50 y 60 °C, indicado por una fuerte disminución en el contenido de los grupos SH total, mientras que, los enlaces no disulfuro covalentes toman lugar a una temperatura entre 50-90 °C. En general, el calentamiento

tiene como resultado el despliegue de la forma nativa de la proteína y una exposición de los grupos polares, mejorando así la interacción proteína-proteína por la asociación hidrofóbica (Liu *et al.*, 2011). La estabilidad de un gel frente a las fuerzas mecánicas y térmicas depende del número y tipo de enlaces cruzados formados por las cadenas de monómeros (Fennema, 2000).

2.2.3 TEXTURA

El consumidor confiere una mayor importancia a la dureza como principal atributo de la textura, siendo uno de los criterios determinantes de la calidad de la carne (Lawrie, 1998). De acuerdo a Foegeding; citado por Totosaus (2001), las principales variables consideradas en el análisis de gel son la fuerza y la deformabilidad del gel. El término fuerza de gel es a menudo utilizado para describir las características estructurales de textura. Esta fuerza de gel es relacionada a la pérdida de agua o capacidad del gel de retener agua. También es relacionada con la dureza, definida como el pico de fuerza a la máxima compresión (Lanier *et al.*; citado por Totosaus, 2001).

La dureza del gel depende de la intensidad de las fuerzas (uniones hidrófobas, hidrófilas y covalentes) que constituyen dicha estructura y que están en función del pH, de la concentración del polímero, de la temperatura, de la fuerza iónica, del grado de desnaturalización etc. (Badui, 2006). Y está asociada al estado de rigidez muscular, capacidad de retención de agua, grasa intramuscular y cantidad de tejido conectivo (Paredes, 2002).

La dureza de la carne cocinada se atribuye, fundamentalmente, al tejido conectivo y a las proteínas contráctiles (Marsh, Miller; citado por Onega, 2003). La carne que presenta un tejido conjuntivo fácil de degradar por calor, posee una complejidad menos dura que aquella con un tejido conectivo más resistente al tratamiento térmico (Prändl *et al.*, 1994). El calentamiento en un medio acuoso produce una reducción de la dureza, tanto mayor sea su duración y cuanto menor sea la temperatura aplicada o viceversa.

El calentamiento modifica la estructura y consistencia de la carne y de los productos cárnicos. Provoca un aflojamiento y relajación del tejido conjuntivo que separa las fibras

musculares y, a consecuencia de ello, la carne se ablanda y pierde elasticidad (Prändl *et al.*, 1994).

Si la microestructura del gel es fina, debido al ordenamiento lineal de las proteínas, el tamaño de los poros de la matriz proteica es menor, esto último aumenta la CRA y con ello, la textura del gel es más suave. Caso contrario sería si las proteínas están unidas de forma aleatoria, se pierde más agua y el gel queda más compacto y duro (Mitchell y Ledwards; citado por Paredes, 2002).

La medición de la textura en geles o productos alimenticios se hace principalmente a través de equipos que interpretan la fuerza necesaria para comprimir, penetrar o atravesar la muestra (Totosaus, 2001).

2.2.4 COLOR

Los pigmentos hemo son responsables del color de la carne. La mioglobina es el principal pigmento y la hemoglobina, el pigmento de la sangre, tiene importancia secundaria. La cantidad de mioglobina varía considerablemente entre los diversos músculos y en ella influyen la especie, la edad, el sexo y la actividad física. Las diferencias de un músculo a otro de un mismo animal son evidentes y estas diferencias están causadas por las cantidades variables de mioglobina existentes en las fibras musculares (Fennema, 2000).

El color rojo se debe solamente a la oximioglobina, el principal pigmento de la carne. La desoximioglobina es responsable del color púrpura de la carne. La oxidación del Fe (II), presente en la oximioglobina y la desoximioglobina, a Fe (III) para producir metamioglobina, es la causa del color marrón de la carne. Las reacciones catalizadas por enzimas en la carne pueden competir por el oxígeno y pueden producir compuestos que alteren el estado de oxidación-reducción y el contenido de agua, influyendo por lo tanto, en el color de la carne (Fennema, 2000).

Se conocen muchos factores que influyen en el color de la carne. Entre ellos hay factores biológicos como el tipo de músculo, la raza y la edad; factores bioquímicos como la tasa de consumo de oxígeno, la autooxidación de la mioglobina, o la reducción enzimática de la metamioglobina y factores extrínsecos como el sistema de alimentación o el uso de

estimuladores de crecimiento. Por último, también se consideran factores físico-químicos como el pH, la temperatura, la estimulación eléctrica de las canales, entre otros. (Onega, 2003).

El espacio de color $L^*a^*b^*$ (también llamado CIELAB) es actualmente uno de los espacios más utilizados para medir el color de los objetos y se utiliza ampliamente en casi todos los campos. En este espacio, L^* indica luminosidad y a^* y b^* son las coordenadas de cromaticidad. En este diagrama, a^* y b^* indican direcciones de colores: $+a^*$ es la dirección del rojo, $-a^*$ es la dirección del verde, $+b^*$ es la dirección del amarillo y $-b^*$ es la dirección del azul. El centro es acromático; a medida que los valores de a^* y b^* aumentan y el punto se separa del centro, la saturación del color se incrementa (MINOLTA, 2003).

2.3 PROTEÍNAS DE LA CARNE

Aunque el músculo contiene aproximadamente del 18 al 22 por ciento de proteínas, el resto lo forman un 75 por ciento de agua, 3 por ciento de grasa y 2 por ciento de sales, cenizas, minerales e hidratos de carbono. Esta cantidad varía bastante en muchos productos cárnicos y lo hace inversamente con la cantidad de grasa presente (Forrest; citado por Franco, 2007). No obstante, muchos productos cárnicos proporcionan, generalmente, la mayor parte del aporte proteico recomendado en la dieta. Las proteínas de la carne tienen un alto valor biológico, esto es, contienen todos los aminoácidos esenciales en las cantidades y las proporciones que pueden ser usadas en la síntesis de las proteínas corporales (Franco, 2007).

Existen múltiples clasificaciones de las proteínas cárnicas (Carballo y López de Torre, 1991):

- Según su forma: (a) globulares y (b) fibrosas.
- Según su localización: (a) extracelulares (están fuera del sarcolema, como el colágeno y la elastina), (b) intracelulares (la mioglobina y las enzimas glucolíticas), (c) miofibrilares (forman parte del aparato contráctil) y (d) reguladoras.

- Según su solubilidad: (a) Sarcoplásmicas (son solubles en agua y funcionalmente son enzimas), (b) miofibrilares (forman el 50-60 por ciento de todas las proteínas cárnicas, son insolubles en agua y solubles en solución salina 1 M; por ejemplo, miosina y actina), y (c) conectivas (insolubles en agua y soluciones salinas; por ejemplo, colágeno y elastina).

Para Knipe; citado por Franco (2007), existen tres tipos de proteínas en la carne; el tipo de proteína más valioso, tanto para animal vivo como para el procesador cárnico, consiste en las proteínas contráctiles. El otro tipo de proteína en la carne consiste en proteínas del tejido conectivo. Y el tercer tipo de proteínas cárnicas consiste en proteínas sarcoplásmicas.

Fischer (1994) señala que las proteínas sarcoplásmicas (albúmina y globulina) forman el 40 por ciento de las proteínas de la carne, las proteínas del aparato contráctil (miosina, actina, tropomiosina y troponina), un 40 por ciento y las proteínas del tejido conjuntivo (colágeno y elastina), un 20 por ciento.

Según Castro (2008) las proteínas miofibrilares representan más del 50 por ciento de las proteínas totales del músculo siendo la miosina (27%) y la actina (11%) las proteínas mayoritarias de este grupo. Estas proteínas presentan un gran interés desde el punto de vista tecnológico, puesto que influyen en la calidad culinaria y, por tanto, en la comercialización de la carne. Además, estas proteínas contienen cantidades importantes de aminoácidos esenciales y contribuyen, en más del 70 por ciento, al aporte proteico debido al consumo de carne.

Las denominadas proteínas contráctiles: miosina, actina, tropomiosina y otras proteínas menores que se encuentran distribuidas en el interior de la célula muscular de la carne; se caracterizan por ser solubles en sal y coagular por el calor. Para dejar libres las proteínas contráctiles, se procede a romper la membrana externa que envuelve la fibra muscular mediante *cutteado*, y luego se solubilizan por adición de salmuera o sal. Estas proteínas, una vez extraídas y solubilizadas, forman una sustancia espesa que ayuda a unir los trozos de carne y que, en la etapa de cocción o escaldado del producto, se coagula, ligando muy firme los componentes de la formulación (Franco, 2007).

Las proteínas miofibrilares tienen un papel esencial al contribuir en la formación de la textura deseada y en la retención de agua en la carne picada en productos como las salchichas. A través de la gelificación térmica, las proteínas miofibrilares ejercen una fuerza de cohesión para mantener las partículas de la carne unidas y para estabilizar las gotas de grasa en la matriz del gel (Acton *et al.*, Xiong; citado por Chin *et al.*, 2009).

2.4 UTILIZACIÓN DE LA SOYA EN PRODUCTOS CÁRNICOS

Fernández *et al.* (1995) indican que las proteínas vegetales han sido utilizadas en la elaboración de productos cárnicos para incrementar el rendimiento, bajar los costos, mantener el valor nutritivo, favorecer propiedades funcionales específicas (capacidad de retención de agua, textura) y reducir el contenido de colesterol y grasas en general.

Las proteínas de soya son las proteínas no cárnicas más utilizadas en la fabricación de productos cárnicos. Están disponibles en una variedad de formas, como polvos, harinas y gránulos, inclusive de forma húmeda. Dependiendo del tipo de proteína de soya, la adición en los productos cárnicos va de uno a tres hasta 12 por ciento (Rocha, 2009).

Según Young (1989), el uso de proteínas de soya en productos cárnicos ofrece las siguientes ventajas: (1) aumenta los rendimientos de cocción, (2) mantiene el contenido proteico y (3) ayuda a reducir el costo de los ingredientes. Rocha (2009) menciona que las proteínas de soya tienen buenas propiedades de ligado. En productos cárnicos emulsificados, mejoran tanto el ligado como la estructura, y aumentan los rendimientos al reducir las pérdidas de grasa y humedad durante el proceso de cocción.

Soy Protein Council; citado por Sipós (1995), señala que las harinas y concentrados texturizados se usan en diversos tipos de alimentos fibrosos, en alimentos con carne molida y alimentos de origen marino. Además, menciona que los concentrados de proteína de soya mejoran la absorción de agua y grasa. Sobre los aislados de proteína de soya (neutralizados), indica que se utilizan en productos cárnicos por su propiedad de mejorar la capacidad de emulsificación y estabilización de la emulsión, así como la absorción de agua, grasa y propiedades de formación de fibra. Finalmente, señala que los aislados estructurados son utilizados para productos a base de carne de ave y alimentos de origen marino.

Sipós (1995) señala que los productos a base de proteína de soya se usan cada vez más en diferentes sistemas a base de carne procesada:

- **Carnes emulsificadas**

Los aislados de proteína de soya y los concentrados funcionales son los ingredientes a base de soya más eficientes que se emplean en preparaciones del tipo emulsión. Dependiendo del producto derivado de la carne, los niveles de utilización varían entre uno y cuatro por ciento.

- **Carnes picadas**

En carnes picadas (carnes para hamburguesas, albóndigas, milanesas, cubiertas para pizza y salsa de carne), los concentrados de proteína de soya y las harinas de soya son los ingredientes de uso más común. La proteína vegetal texturizada también se utiliza como uno de los ingredientes proteínicos de los aderezos para pizza.

- **Carnes enlatadas**

La proteína de soya texturizada se utiliza en productos enlatados, con el fin de absorber los jugos liberados durante el proceso de enlatado, lo cual da como resultado un producto final de consistencia más firme. Los concentrados de soya texturizados se pueden utilizar en niveles relativamente altos.

- **Carnes de músculo entero**

Es factible incorporar un aislado o un concentrado funcional a grandes piezas de músculos (jamón, “*roastbeef*”, aves, pescado, etc.). Una salmuera que contenga uno de estos productos proteicos de soya puede inyectarse o introducirse al músculo mediante masajeo, utilizando la tecnología convencional para carnes curadas.

Los concentrados funcionales y los aislados de soya, se usan actualmente para aglutinar cortes y trozos de carne, para elaborar pasteles de carne y rollitos de carne de aves.

- **Productos elaborados a base de carne de aves**

Las proteínas texturizadas hidratadas se pueden utilizar para efectuar extensiones que simulen la carne de cangrejo, camarón, tortas de pescado etc.

- **Alimentos de origen marino**

Las proteínas texturizadas hidratadas se pueden utilizar para efectuar extensiones que simulen la carne de cangrejo, camarón, tortas de pescado etc.

En el Cuadro 2 se muestran los productos de soya utilizados para la elaboración de diversos productos cárnicos.

Cuadro 2: Productos de soya utilizados para la elaboración de distintos productos cárnicos

Producto de soya	Contenido proteico (%)	Producto cárnico	Propiedad funcional mejorada con la adición de soya
Harina	65	Albóndigas, carne para pizza, conservas de carne.	Absorción de agua, viscosidad, propiedades emulsionantes, etc.
Texturizado	65	Conservas de carne, albóndigas, carne para pizza.	Absorción de agua y grasa, textura y sabor.
Concentrado de proteína	65-90	Salchichas, chopped, conservas de carne, albóndigas, pechuga de ave, chorizo, salchichón, carne para pizza, etc.	Absorción de agua y grasa, propiedades gelificantes y emulsionantes y control del sabor.
Aislado de proteína	> 90	Salchichas, chopped, chorizo, salchichón, pechuga de ave, carne para pizza, etc.	Viscosidad, propiedades gelificantes, elasticidad, absorción de grasa y agua y control del sabor y el color.

FUENTE: Endres (2001).

2.5 PROTEÍNAS DEL HUEVO

2.5.1 GENERALIDADES

Los huevos son probablemente, uno de los primeros ingredientes multifuncionales que se han utilizado en la historia de la tecnología de los alimentos. Debido a que sus proteínas poseen múltiples propiedades como espumantes, emulsionantes, gelificantes y ligantes, son ingredientes deseables en muchos alimentos, además de ser una excelente y económica fuente de proteína de alta calidad y baja en caloría (Nys y Sauveur; citado por Trespalacios 2007).

En el Cuadro 3 se resume las aplicaciones del huevo, según sus propiedades funcionales, en las distintas industrias de alimentos.

Cuadro 3: Aplicaciones basadas en las propiedades funcionales del huevo

Industria	Propiedades
Galletería y pastelería	Aromáticas
	Coagulantes
	Colorantes
	Emulsionantes
	Espesantes
	Ligantes
Embutidos y confitería	Ligantes
	Anticristalizante
	Espesantes
Flanes y cremas	Aromáticas
	Coagulantes
	Colorantes
Helados	Ligantes
Mayonesas y salsas	Emulsificantes
Pastas alimenticias	Aromáticas
	Colorantes
	Ligantes

FUENTE: Bourgeois *et al.* (1982).

BOE 292; citado por Trespalacios (2007) menciona que los ovoproductos son los productos obtenidos a partir del huevo, de sus diferentes componentes o sus mezclas, una vez eliminadas la cáscara y las membranas, y que están destinados al consumo humano.

Los ovoproductos podrán estar parcialmente completados por otros productos alimenticios o aditivos; podrán hallarse en estado líquido, concentrado, desecado, cristalizado, congelado, ultracongelado o coágulo. Los ovoproductos pueden destinarse al consumo humano directo o a industrias alimentarias y no alimentarias, para otros procesados. Su composición y características físico-químicas son muy distintas según sea su forma física, las técnicas de elaboración empleadas y los aditivos incorporados (Instituto de Estudios del Huevo, 2006).

2.5.2 ALBÚMINA DE HUEVO

La clara de huevo tiene propiedades gelificantes, emulgentes, espumantes y fijadoras de agua que la convierten en muy útil para la elaboración de numerosos productos alimenticios. La multifuncionalidad de la clara de huevo deriva de las complejas interacciones entre sus constituyentes proteicos, tales como la ovoalbúmina, conalbúmina, lisozima, ovomucina y otras proteínas similares a la albúmina (Fennema, 2000). Una característica muy peculiar de las proteínas de la clara de huevo es su gran sensibilidad a los diversos factores que promueven la desnaturalización, así como su capacidad para asociarse y formar geles con distintas propiedades reológicas (Badui, 2006).

La albúmina de huevo es un importante ingrediente en el procesamiento de alimentos, conteniendo un mínimo de 80 por ciento de proteína, y una variedad de propiedades funcionales, como la formación de gel, propiedades de retención de agua, capacidad de formación de espuma y habilidad de emulsificación. De todas estas, la formación de gel y capacidad de retención de agua son las que mayormente se aplican en productos cárnicos (Handa; citado por Franco, 2007).

Powrie y Nakal; citado por Trespalacios (2007) señalan que el albumen es un sistema proteico de numerosas proteínas globulares, constituido principalmente por ovoalbúmina, y se encuentran fibras de ovomucina incluidas en la solución acuosa. Los carbohidratos (uno por ciento de peso total) se encuentran en forma libre o combinada con proteínas, mientras que la glucosa constituye el 98 por ciento de los carbohidratos libres totales. La cantidad de lípidos en el albumen de huevo es mínima en comparación con la cantidad presente en la yema. Las principales proteínas y algunas características fisicoquímicas más importantes se pueden observar en el Cuadro 4.

La ovoalbúmina constituye más de la mitad de proteínas presentes en el albumen y es la proteína que contribuye predominantemente a las propiedades funcionales del mismo (Mine *et al.*; citado por Trespalacios 2007).

En el Cuadro 4, se puede observar las principales características físico-químicas de las proteínas del albumen.

Cuadro 4: Principales características físico-químicas de las proteínas del albumen

PROTEÍNA	%	kDa*	p I**	T _m ***	CARACTERÍSTICAS
OVOALBÚMINA	54	45	4.5	84.0	Fosfoglicoproteína
OVOTRANSFERRINA	12-13	77.7	6.0	61.0	Liga hierro y otros iones metálicos
OVOMUCOIDE	11	28	4.1	70.0	Inhibe la tripsina y serina proteinasas
LISOZIMA	3.4-3.5	14.3	10.7	75.0	Lisa la pared celular bacteriana
OVOMUCINA	1.5-3.5	220-270	4.5-5.0		Interactúa con la lisozima
OVOGLOBULINA G ₂	1.0	36	4.9-5.3	92.5	Interviene en la capacidad espumante
OVOGLOBULINA G ₃	1.0	45	4.8		Interviene en la capacidad espumante
OVOFLAVOPROTEÍNA	0.8	32	4.0		Liga a la riboflavina
OVOMACROGLOBULINA	0.5	760-900	4.5-4.7		Inhibe la hemaglutinación
CISTATINA	0.05	12	5.1		Inhibe las sulfhidril proteinasas
AVIDINA	0.05	68.3	10.0		Liga a la biotina
PROTEÍNA LIGADORA DE LA TIAMINA		38			Liga a la tiamina
GLUTAMIL AMINOPEPTIDASA		320	4.2		
GLICOPROTEÍNA		52	5.7		

*Masa molecular **Punto isoeléctrico ***Temperatura de desnaturalización

FUENTE: Awade, Powrie y Nakai; citado por Trespalacios (2007).

2.5.3 GELIFICACIÓN DE LAS PROTEÍNAS DEL HUEVO

Las propiedades reológicas del albumen, de la yema o del huevo completo cambian considerablemente cuando se calientan a determinadas temperaturas. Al calentar el albumen a 62 °C, su viscosidad y opacidad aumentan. Si la temperatura se eleva a 65 °C, se forma un gel débil, aumentando su resistencia a medida que se incrementa la temperatura (Trespalcios, 2007).

El primer paso en la gelificación térmica del albumen es el cambio en la conformación de las proteínas nativas a un estado parcialmente desdoblado (Figura 2).

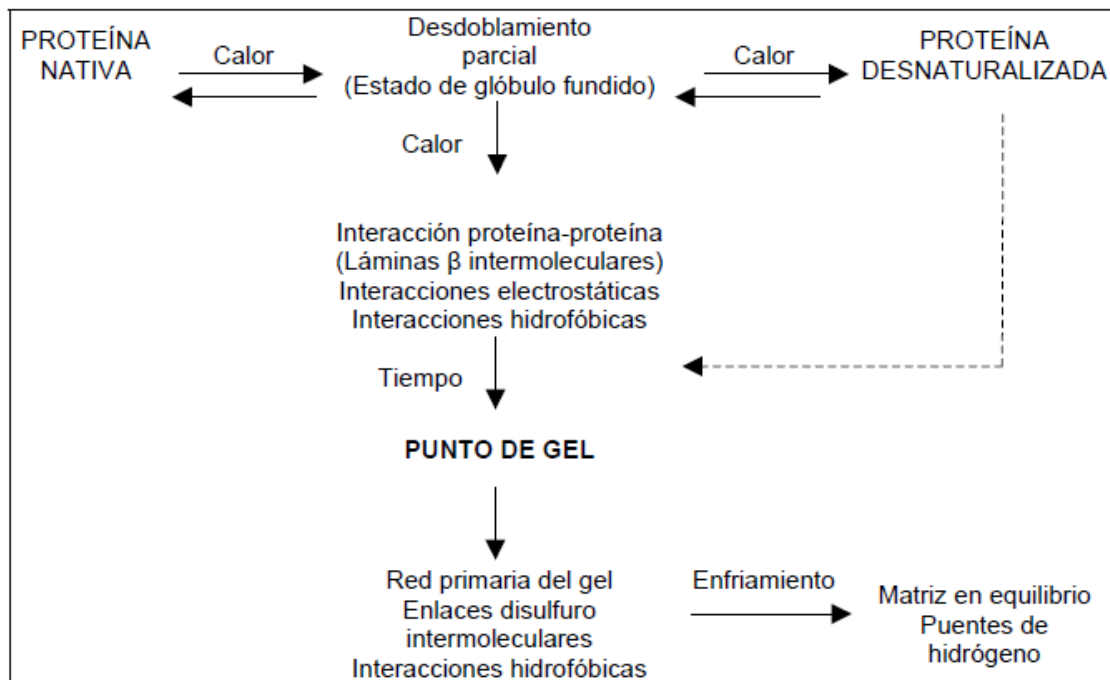


Figura 2: Esquema de la gelificación térmica de las proteínas del albumen

FUENTE: Mine; citado por Trespalcios (2007).

La ovoalbúmina, la ovotransferrina y la lisozima forman láminas β intermoleculares. La formación de una estructura estable de láminas β es de suma importancia en la desnaturalización térmica y agregación de las proteínas. Durante esta transición, los grupos funcionales del estado nativo que están enlazados intramolecularmente por puentes de hidrógeno e interacciones electrostáticas e hidrofóbicas, llegan a estar disponibles para interacciones intermoleculares bajo condiciones apropiadas, formando una red o gel. Aun

cuando la agregación de la ovoalbúmina puede ocurrir por interacciones físicas, los enlaces disulfuro son importantes para determinar la morfología y las propiedades reológicas del gel (Visscher y de Jongh, Broersen, van Teeffelen, Vries, Voragen, Hamer y de Jongh; citado por Trespalacios 2007).

2.5.4 ALBÚMINA DE HUEVO EN POLVO

Se han propuesto varios métodos para mejorar las propiedades funcionales de las proteínas del albumen. La deshidratación con temperatura y humedad controlada y baja actividad acuosa, mejoran notablemente la elasticidad, la fuerza del gel y la capacidad de retención de agua del albumen deshidratado (Kato *et al.*, Mine; citado por Trespalacios, 2007).

La proteína de albúmina de huevo en polvo, también conocida comercialmente como clara alto gel, es separada de la yema mecánicamente, se filtra y es producida a través de un proceso de *spray-drying* después de la eliminación de carbohidratos, para prevenir el oscurecimiento y perder la solubilidad por la reacción de Maillard, durante la pasteurización y almacenamiento. Es un producto en polvo de un color ligeramente amarillento, insípido y casi inodoro, producido con el fin de implementarlo en la elaboración de productos cárnicos, aprovechando las ventajas comparativas que posee respecto a la proteína cárnica y en ciertos aspectos, respecto a la proteína concentrada y aislada de soya (Franco, 2007).

La rigidez de la albúmina de huevo empieza a los 71 °C y se incrementa a los 83 °C; mientras que, la elasticidad se desarrolla entre 70 y 74 °C. La desnaturalización de la ovoalbúmina ocurre desde los 79 °C hasta los 84 °C. El incremento de temperatura y el período de calentamiento ayudan a mejorar la unión con las moléculas de agua e incrementa la estructura de las cadenas de gel. La clara alto gel posee una capacidad de retención de agua de hasta 12 veces su peso, provocando la disminución del precio en su aplicación, por la reducción de la cantidad de proteína que es aplicada en cada parada de producción (Franco, 2007).

a. PROCESO PARA LA OBTENCIÓN DE ALBÚMINA DE HUEVO EN POLVO

La clara alto gel es un producto obtenido a partir de la albúmina líquida, generada de la rotura mecánica y aséptica de huevos de gallina frescos, sanos y limpios. Como primer paso es filtrada, desglucosada, pasteurizada y deshidratada según tecnología apropiada, generalmente por *spray-dry*, hasta finalmente obtener un producto en polvo. Contiene, como mínimo, 80 por ciento de proteína, con un pH neutro. La vida útil de envasado de este producto es por un período mínimo de 12 meses (OVOSUR; citado por Franco, 2007) y su proceso se ilustra en la Figura 3.

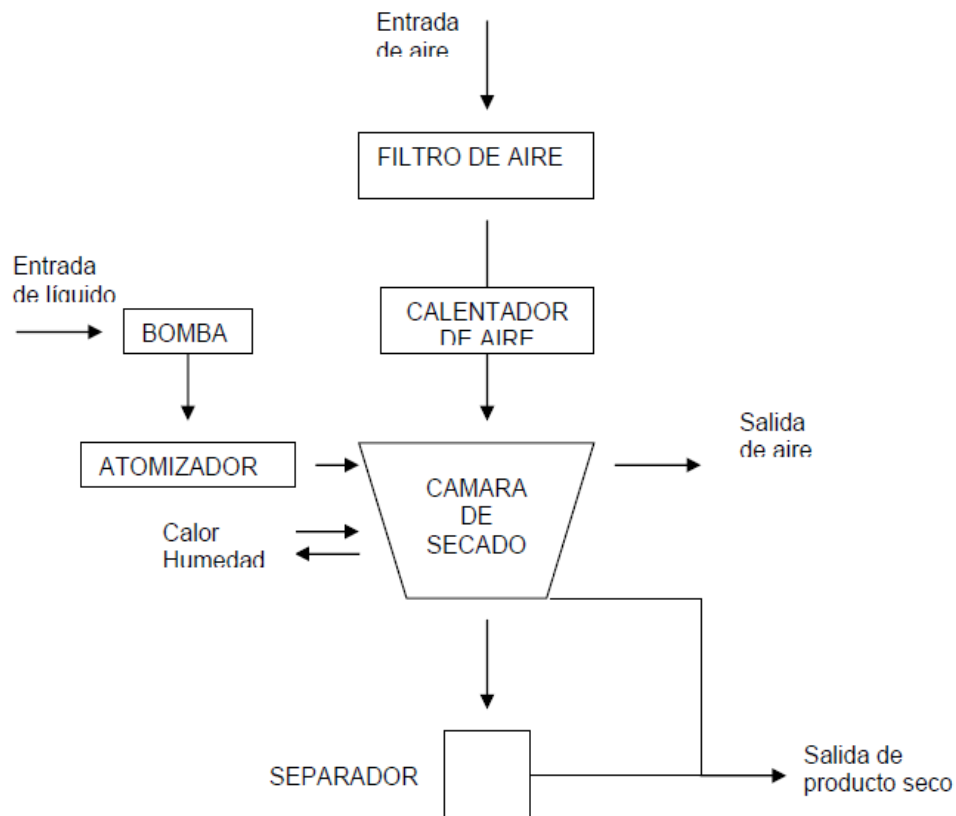


Figura 3: Proceso de obtención de proteína de albúmina de huevo en polvo

FUENTE: Franco (2007).

2.6 DISEÑO DE MEZCLAS

2.6.1 DEFINICIÓN

En el diseño de productos y procesos agroalimentarios, es frecuente acudir a las herramientas estadísticas de diseño robusto y experimental para la evaluación y optimización de mezclas de varios componentes o ingredientes. Cuando se está frente a una situación de encontrar la mezcla óptima de componentes, lo mejor es usar un tipo de diseño de experimentos especiales, los cuales son los diseños de mezclas (*Mixture Design*) (Álvarez *et al.*, 2007).

Los experimentos de mezclas son una clase especial de experimentos de superficie de respuesta, en el cual, el producto que está en investigación es resultado de varios componentes o ingredientes (*Minitab User's Guide 2*, 1998). La forma como se analizan estos tipos de diseño es a través de una superficie de respuesta, que permita encontrar la formulación óptima de una serie de mezclas de prueba. El objetivo de los diseños de mezclas es estimar un modelo con curvatura que permita encontrar la mezcla de componentes que tienen el punto óptimo (Álvarez *et al.*, 2007).

Existen varios diseños que minimizan el número de experimentos necesarios. Una de estas técnicas corresponde a los denominados Diseños o Experimentos de Mezclas, la cual asume que una respuesta de interés en una mezcla depende únicamente de las proporciones relativas de los ingredientes presentes en ésta, y no de la cantidad de la misma. Dichas proporciones son no negativas, son dependientes entre ellas y, en caso estén expresadas como fracción de la mezcla, deben sumar siempre la unidad (Cornell, 2002).

2.6.2 CARACTERÍSTICAS Y RESTRICCIONES DEL DISEÑO DE MEZCLAS

a. Características del diseño de mezclas

En los experimentos de mezclas, los factores experimentales son precisamente los componentes de la mezcla y los resultados son funciones de tales proporciones y pueden optimizarse mediante la técnica de la superficie de respuesta (Saltos *et al.*, 2010).

Una característica distintiva de este tipo de diseño es que los factores controlables o independientes representan cantidades proporcionales de la mezcla, en vez de cantidades no circunscritas a ella; donde las proporciones son por volumen, por peso, o por fracción molar (Cornell, 2002). La cantidad total de la mezcla normalmente se fija en el diseño y la de cada componente es proporcional al total; además la proporción de los componentes no varía de manera independiente, como sí ocurre en los diseños factoriales, sino que, están restringidas a que la suma sea constante (1 o 100%) (Salamanca *et al.*, 2010).

Los diseños de mezclas son diferentes de otros tipos de diseño experimental factorial, porque la suma de los porcentajes de los componentes debe ser igual a 100 por ciento. Por lo tanto, al aumentar el nivel de un componente, se debe reducir el nivel de, por lo menos, otro. Mientras que en habituales diseños factoriales a menudo se utilizan modelos de ANOVA, en los diseños de la mezcla el análisis de regresión se utiliza, principalmente el modelo lineal, cuadrático o cúbico (Rasch *et al.*, 2011).

Como se puede apreciar, la característica medida en el producto final depende de los porcentajes o proporciones de los ingredientes individuales que están presentes en la formulación y, por tal motivo, está sujeta a cambios, si dichos porcentajes o proporciones varían (Cornell, 2002).

b. Restricciones en el diseño de mezclas

Las principales restricciones que se imponen en un diseño de mezclas son: (1) la suma de todos componentes es una constante, y (2) todas las proporciones se encuentran entre cero y la suma de los componentes individuales (Box, Hunter y Hunter; citado por De Ketelaere, 2011).

Montgomery (2002), resume las dos restricciones que se tienen hasta el momento:

$$0 \leq X_i \leq 1 \quad i = 1, 2, \dots, p$$

$$X_1 + X_2 + \dots + X_p = 1 \quad (\text{es decir, } 100\%)$$

Donde: X_1, X_2, \dots, X_p denotan las proporciones de p componentes de una mezcla.

Con tres componentes, el espacio que muestra es un triángulo cuyos vértices corresponden a formulaciones que son componentes puros (“mezclas” consistentes en 100% de un solo componente). Se muestra en la Figura 4 el espacio factorial restringido para mezclas con tres componentes.

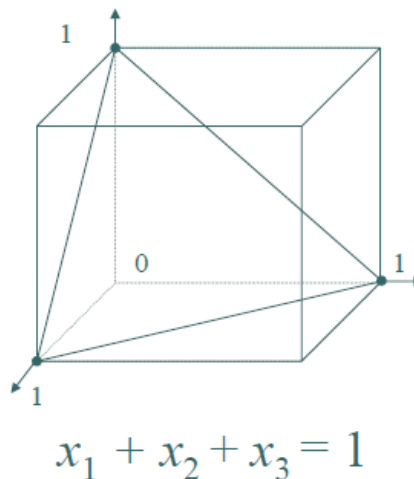


Figura 4: Espacio factorial restringido para mezclas con tres componentes (p=3)

FUENTE: Montgomery (2002).

Sin embargo, en los experimentos de diseño de mezcla en la industria alimentaria, a menudo, hay también limitaciones adicionales a las proporciones de los componentes individuales (De Ketelaere, 2011).

Según Montgomery (2002), cuando hay tres componentes de una mezcla, la región experimental restringida puede presentarse de manera conveniente en papel de coordenadas trilineales (Figura 5). Cada uno de los tres lados de la gráfica de la Figura 5 representa una mezcla que carece en absoluto de uno de los tres componentes (el componente indicado en el vértice opuesto).

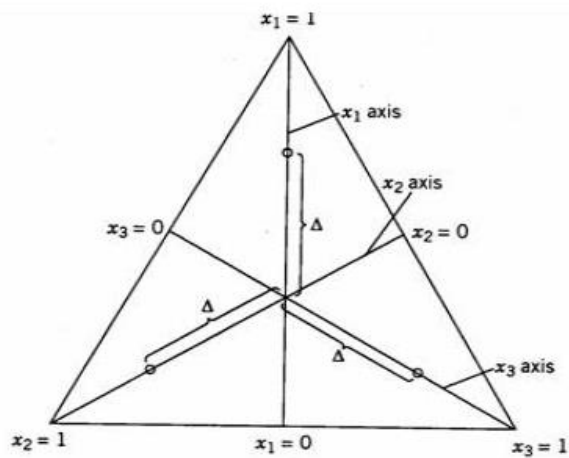


Figura 5: Sistema coordenado trilineal

FUENTE: González (2004).

Es frecuente encontrar en la práctica situaciones en las que existen, en forma simultánea, límites inferiores y superiores para cada componente integrante de una mezcla. Esta situación se da cuando, por ejemplo, para formar una mezcla se requiere o necesita como mínimo L_i , pero no más de U_i del componente i ; y así sucesivamente con algunos o todos los demás componentes (es decir, existen también límites similares especificados para las proporciones de otros componentes) (Cornell, 2002).

Con “q” componentes, las restricciones múltiples son escritas como:

$$0 \leq L_i \leq x_i \leq U_i \leq 1, i = 1, 2, \dots, q$$

Cuando solamente una o dos de las proporciones de los componentes están restringidas en valor, la apreciación de la forma del espacio factorial resultante no ofrece mayores dificultades. Sin embargo, si casi todas las proporciones de los componentes están restringidas, tanto por el límite inferior como el superior, el espacio factorial resultante toma la forma de un hiperpoliedro convexo que, por lo general, tiene una forma considerablemente más complicada que el simplex (Cornell, 2002).

2.6.3 DISEÑO DE TRATAMIENTOS PARA MEZCLAS

Álvarez *et al.* (2007) indican que para el diseño experimental de mezclas se usan dos tipos de diseños: Diseño Simplex-Laticce y Simplex- centroide.

a. Diseño Simplex-Laticce (Diseño de retícula simplex)

El arreglo formado por una distribución uniforme de coordenadas de diseño en un sistema simplex se conoce como retícula (Figura 6a). Los diseños de retícula simplex se componen de una malla de coordenadas de diseño construidas de manera que permiten estimar las ecuaciones polinomiales de la superficie de respuesta. La designación (k,m) se usa en un diseño de retícula simplex con “k” componentes para estimar la ecuación polinomial de superficie de respuesta de grado “m” (Kuehl, 2001). Los diseños Simplex-Laticce tienen la ventaja de que se utilizan menor número de ensayos, pero la mayoría de los puntos están en la frontera y en general, el tipo de superficie que se puede estimar en la respuesta es lineal (Álvarez *et al.*, 2007).

b. Diseño Simplex con Centroide

Kuehl (2001) menciona que las combinaciones para los diseños de retícula con centroides se encuentran en las orillas del espacio de factores Simplex, con la excepción de un punto centroide que contiene la mezcla de todos los componentes. Además, agrega que es posible obtener mezclas más completas si se aumentan los diseños centroides Simplex con mezclas sobre los ejes del espacio de factores. En este caso, los puntos del diseño se colocan en cada eje, equidistantes al centro o centroide hacia los vértices. Este diseño se denomina diseño Simplex con centroides ampliados (Figura 6b). Según Álvarez *et al.* (2007), es aconsejable usar los diseños simplex con centroide porque incluyen mayor número de puntos en el interior y éste, permitiendo estimar superficies cuadráticas y cúbicas.

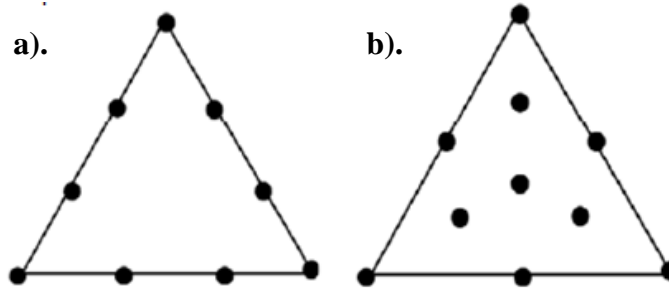


Figura 6: (a) Diseño Simplex Laticce y (b) Diseño Simplex con centroide ampliado

FUENTE: Álvarez (2007)

2.6.4 POLINOMIOS EMPLEADOS EN EL DISEÑO DE MEZCLAS

Los modelos polinomiales usados son desarrollados a partir de la ecuación de Scheffé, la cual modifica algunos términos de la expresión polinomial completa para eliminar los efectos originados por variables correlacionadas (Montgomery, 2002).

Montgomery; citado por Elías (2002) indica que los modelos usados en el diseño de mezclas difieren de los polinomios usualmente empleados en el trabajo de superficie de respuesta, debido a la restricción $\sum X_i = 1$. Las formas estándares de los modelos de mezclas de uso difundido son:

Lineal:

$$E(y) = \sum_{i=1}^p \beta_i X_i$$

Cuadrática:

$$E(y) = \sum_{i=1}^p \beta_i X_i + \sum_{i < j} \beta_{ij} X_i X_j$$

Cúbica:

$$E(y) = \sum_{i=1}^p \beta_i X_i + \sum_{i < j} \beta_{ij} X_i X_j + \sum_{i < j} \delta_{ij} X_i X_j (X_i - X_j) + \sum_{i < j < k} \beta_{ijk} X_i X_j X_k$$

2.6.5 APLICACIONES DEL DISEÑO DE MEZCLAS EN LA INDUSTRIA CÁRNICA

La literatura menciona aplicaciones del método de diseño de mezclas para determinar el nivel de sustitución de carne de porcino por harina texturizada de soya en la elaboración de *cabanossi* (Elías, 2002). Asimismo, Zorogastúa (2004) aplica este método en la elaboración de chorizo ahumado con carne de alpaca y carne de cordero e Izaguirre (2008) en la elaboración de *Nuggets*, incorporando carne de caracol.

De la misma manera, la literatura menciona el uso del método de diseño de mezclas para optimizar la utilización de carne de cordero en formulaciones para salchichas vienasas y paté de hígado (Villarroel *et al.*; citado por Elías, 2002). Zorba *et al.*, (2006) aplican este método para la optimización de las características de una emulsión de carne de res, pollo y pavo. Tay Wo Chong (2010) elabora una formulación óptima de pate de hígado de pollo utilizando el método de diseño de mezclas.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN

La ejecución del presente trabajo de investigación se llevó a cabo en las siguientes instalaciones de la Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Agraria La Molina:

- Laboratorio de Análisis Físico-Químico de Alimentos.
- Laboratorio de Investigación.
- Laboratorio de Instrumentación.
- Laboratorio de Ingeniería de Alimentos.

3.2 MATERIA PRIMA E INSUMOS

3.2.1 MATERIA PRIMA

- Carne de piernas (tres *batch*) provenientes de cerdos criollos de aproximadamente cuatro meses de edad (gorrinos).

3.2.2 INSUMOS

- Fosfato de sodio (Nutrifos[®] producido por Montana S.A.)
- Sal común
- Sal de cura al 25% de nitritos (Curasal[®] producido por Montana S.A.)
- Ascorbato de sodio
- Agua
- Albúmina de huevo deshidrata (Clara Deshidratada Pasteurizada Alto Gel producido por Ovoproductos del Sur S.A.C.)
- Concentrado Funcional de Soya (Promine HV SQ[®] producido por Central Soya)

3.3 MATERIALES Y EQUIPOS

3.3.1 MATERIALES

- Cuchillos
- Cronómetro
- Magneto
- Material de vidrio en general
- Papel Filtro Whatman N°1
- Papel *tissue*
- Parafilm
- Pesa de 2 kg
- Placas de acrílico
- Termómetro
- Tubos cilíndricos de plásticos
- Vasos de precipitado

3.3.2 EQUIPOS

- Agitador Magnético
- Analizador de Textura QTS 25 (Brookfield® CNS Farnell, Middelboro, MA, USA)
- Balanza analítica Sartorius, modelo B120S
- Balanzas de precisión: Ohaus Adventurer, Sartorius modelo ELT 100, Mettler Toledo
- Baño María a 80 °C
- Cámara de refrigeración
- Cocina eléctrica
- Colorímetro Minolta CR-400®.
- Computadora *Pentium IV*
- Homogenizador, marca Moulinex modelo: AR6638. Francia.
- Potenciómetro marca Schott Gerate
- *Software Design-Expert*® 8.0.7.1

3.4 MÉTODOS DE ANÁLISIS Y EVALUACIÓN

3.4.1 ANÁLISIS PROXIMAL

Se realizó el análisis proximal a la materia prima, al gel cárnico patrón elaborado con concentrado funcional de soya y al gel cárnico elaborado con la concentración óptima de albúmina de huevo. Los métodos empleados fueron los siguientes:

a. Contenido de Proteína:

Se realizó según el método recomendado por la AOAC 992.15 (2007). La muestra fue digerida con H_2SO_4 , empleando $CUSO_4 \cdot 5H_2O$ como catalizador y K_2SO_4 para elevar el punto de ebullición, para liberar el nitrógeno a partir de la proteína y retener nitrógeno como sal de amonio. Se agregó NH_3 , el cual fue destilado, recogido en solución de H_3BO_3 y titulado. Finalmente, el contenido de proteína se calculó como Nitrógeno, multiplicándose por un factor de 6,25.

$$\% \text{ Proteína bruta} = \% \text{ Nitrógeno} \times 6,25$$

b. Contenido de Grasa Total:

Se determinó la grasa libre por el método recomendado por la AOAC 991.36 (2007) por extracción directa en el equipo Soxhlet con éter de petróleo de la muestra anhidra durante seis horas. Después se desecó el residuo en una estufa a $100^\circ C$ durante 30 minutos, se enfrió y se pesó.

$$\% \text{ Grasa bruta} = \frac{\text{Peso (g) de la grasa de la muestra deshidratada}}{\text{Peso (g) de muestra deshidratada}} \times 100$$

c. Cenizas:

Se realizó por el método recomendado por la AOAC 920.153 (2007). Este método se basó en la determinación del peso de los residuos que quedan después de calcinar la muestra a

550 °C durante seis horas en una cápsula de porcelana. Se calculó el residuo de incineración por diferencia de peso.

$$\% \text{ Ceniza} = \frac{\text{Peso (g) de la ceniza del alimento} \times 100}{\text{Peso (g) de muestra}}$$

d. Humedad de la carne:

Se realizó por el método recomendado por la Norma ISO 1442; citado por Salvá (2009). Se tomaron unas cápsulas de acero inoxidable y se dejaron una hora a 100 °C, luego se pesaron aproximadamente 15 g de arena de mar de grano fino en cada cápsula, colocando a continuación en su interior una varilla de vidrio. El conjunto (cápsula, arena y varilla) se introdujo en una estufa, donde se desecó durante 30 min a 102 ± 2 °C, trasladándose seguidamente a un desecador donde se dejó enfriar hasta temperatura ambiente, pesándolo a continuación con $\pm 0,01$ g de precisión.

Posteriormente se colocaron en la cápsula aproximadamente 5 g de carne de porcino y se pesó nuevamente, luego se añadieron 5 ml de alcohol etílico al 96 por ciento y se mezcló la muestra con la arena, con la ayuda de la varilla de vidrio. Las cápsulas se colocaron en baño de arena caliente hasta la evaporación del alcohol, agitando periódicamente para prevenir la formación de costras y de proyecciones. Finalmente se sometió el conjunto a desecación a 102 ± 2 °C durante cuatro horas. Transcurrido este tiempo, se procedió al enfriamiento en el desecador y el conjunto se pesó.

El contenido en agua se calculó por diferencia de peso antes y después del tratamiento. La humedad se expresó como porcentaje en peso y se calculó según la siguiente fórmula:

$$\% \text{ Humedad} = \frac{P_1 - P_2}{P_1 - P_0} \times 100$$

P_0 = Peso, en gramos, de la cápsula, varilla y arena.

P_1 = Peso, en gramos, de la cápsula, varilla, arena y muestra, antes de desecar.

P_2 = Peso, en gramos, de la cápsula, varilla, arena y muestra, después de desecar.

3.4.2 ANÁLISIS DE PROPIEDADES TECNOLÓGICAS

a. Pérdidas por cocción (*Cooking yield*) y Rendimiento del gel

Se midieron por el método recomendado por Dondero *et al.* (2006) y Pietrasik (2003). Para la elaboración de los geles se utilizó diferentes mezclas de carne, agua y albúmina de huevo deshidratada, para lo cual se utilizó un homogenizador (*Moulinex*, Francia). Luego, dicho homogenizado fue introducido dentro de tubos cilíndricos de plásticos cubiertos con una película de plástico (*Parafilm*) y se calentaron en un baño de agua a 80 °C por 14 minutos aproximadamente, hasta una temperatura interna de 70 °C, para después enfriarse en un baño de agua helada hasta una temperatura de 20 °C en la parte central. Después de almacenamiento a 4 °C durante la noche, cada gel frío fue retirado del tubo de plástico, secado con un papel absorbente y pesado para un rendimiento de cocción. La pérdida por cocción en general se calculó como un porcentaje basado en el peso crudo del gel.

El rendimiento de los geles fue calculado como el peso de la carne cocida-gel, dividido por el peso de la pasta de carne sin cocer y fue expresado como porcentaje.

$$\% \text{ Pérdida por cocción} = \frac{\text{Peso inicial de la pasta de carne (g)} - \text{Peso final del gel (g)}}{\text{Peso inicial de la pasta de carne (g)}} \times 100$$

$$\% \text{ Rendimiento} = \frac{\text{Peso final del gel (g)}}{\text{Peso inicial de la pasta de carne (g)}} \times 100$$

b. Pérdida de agua por presión

Se determinó por el método modificado por Hamm (Grau y Hamm; citado por Jarmoluk *et al.*, 2003). Una muestra de gel (0,3 g aprox.) se colocó en un papel filtro (Whatman N°1), el cual fue colocado entre dos placas de acrílico y presionado por cinco minutos por 2 kg de peso. Tras la compresión, se separó cuidadosamente la carne del papel húmedo y se procedió con el pesado.

$$\% \text{ Pérdida de agua por presión} = \frac{\text{Peso final del papel filtro (g)} - \text{Peso inicial del papel filtro (g)}}{\text{Peso inicial de la carne (g)}} \times 100$$

c. pH

Se realizó la medición de pH según la metodología dada por la Norma Técnica Peruana NTP-ISO 2917 (1998). Se pesó 10 g de muestra y se añadió 100 ml de agua destilada, se licuó y se filtró. En el filtrado se midió el pH.

d. Evaluación del color

Se evaluó el color por el método recomendado por Pietrasik (2003). El color del gel cárnico fue medido usando el colorímetro Minolta CR 400 (Konica Minolta, 2004) y expresado como L* (luminosidad), a* (tendencia al rojo), b* (naranja->acromaticidad). Se tomó un valor promedio de la medida del color en cuatro diferentes puntos en la parte interna del mismo gel. Para fines de esta investigación se evaluó sólo el parámetro a*.

e. Análisis de dureza

Se midió la dureza del gel cárnico con un texturómetro QTS 25 (Brookfield® CNS Farnell, Middelboro, MA, USA), por el método recomendado por Pietrasik (2003). Los centros de los geles fueron cortados (25 mm de diámetro y 15 mm de altura) y comprimidos dos veces hasta el 30 por ciento de su altura original, a una velocidad constante de 60 mm/min.

3.5 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.5.1 ELABORACIÓN DEL GEL CÁRNICO DE PORCINO

La elaboración del gel cárnico de porcino con adición de albúmina de huevo se realizó en base a la formulación de referencia que se muestra en el Cuadro 5 y tomando en cuenta las restricciones para los componentes del gel cárnico principal que se muestran en el Cuadro 6.

En la Figura 7 se muestra el flujo de operaciones para la elaboración del gel cárnico de porcino. Dicho flujo estuvo basado en el proceso descrito por Pietrasik (2003).

Cuadro 5: Fórmula de referencia para la elaboración del gel cárnico (%)

INGREDIENTES	PORCENTAJE (%)
Carne	26,29
Agua	69,32
Albúmina de huevo	2,00
Otros*	2,39
Total	100,00

* Concentraciones de sal común, fosfato de sodio, nitrito de sodio y ascorbato de sodio en niveles constantes de 2,0; 0,3; 0,01 y 0,08% respectivamente.

FUENTE: Pietrasik (2003).

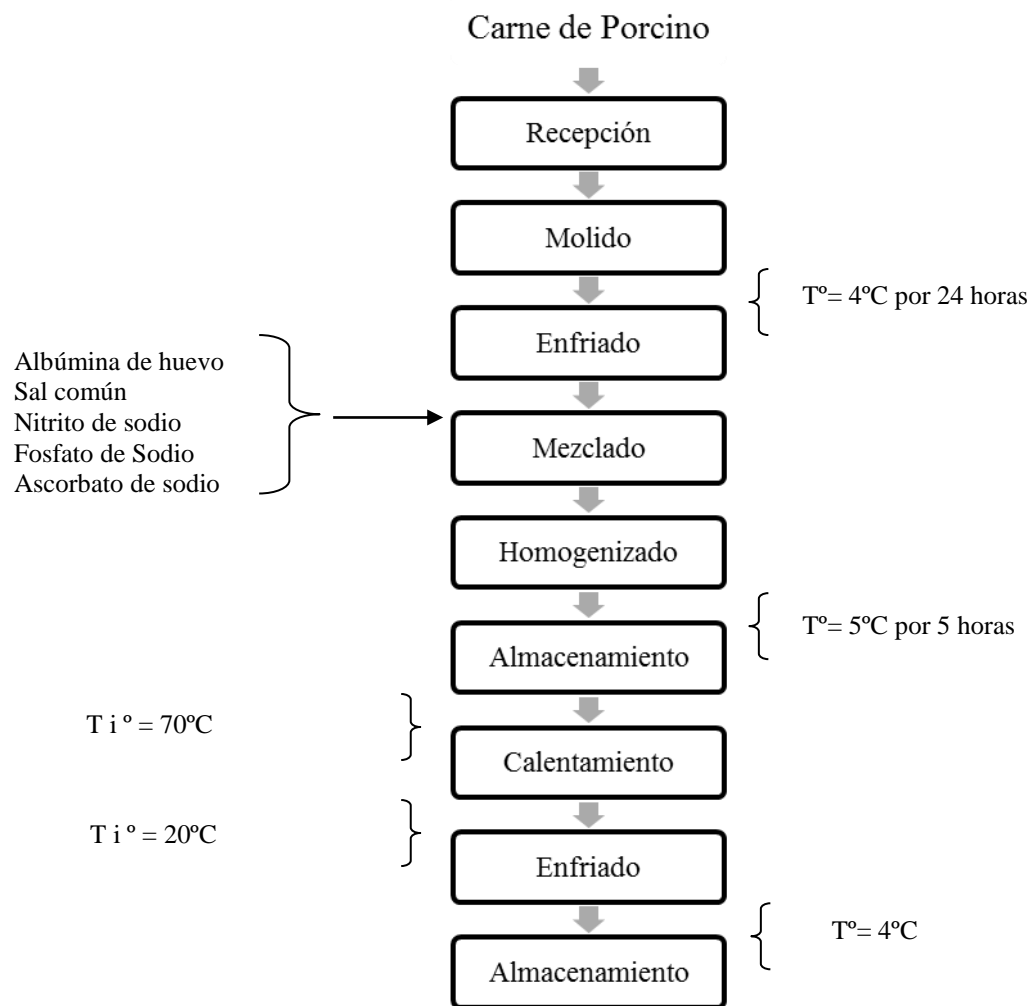


Figura 7: Diagrama de flujo de operaciones para la elaboración de un gel cárnico

FUENTE: Adaptado de Pietrasik (2003).

Antes de la elaboración, la carne fue llevada a una temperatura de 4°C por 24 horas. La carne molida fue mezclada con los otros componentes (300 g por tratamiento, por triplicado, en *batch*) en un homogenizador (*Moulinex*, Francia). Cabe resaltar que, tanto la albúmina de huevo como el concentrado de soya fueron hidratados previamente (1:8 y 1:5 respectivamente).

El agua y el hielo (50:50) se añadieron para garantizar el mismo nivel de proteína de carne en todas las formulaciones. La temperatura final del homogenizado medido al final de la mezcla no excedió los 12°C . Inmediatamente después de la preparación del

homogenizado, la pasta fue introducida dentro de tubos cilíndricos de plásticos (30 x 115 mm). Los tubos fueron cubiertos con una película de plástico (*Parafilm*), y se dejaron reposar por cinco horas en una cámara de refrigeración a una temperatura de 5 °C. Las muestras homogenizadas se calentaron en un baño de agua a 80 °C por 14 minutos (aproximadamente), hasta una temperatura interna de 70 °C y después se enfrió en baño de agua helada hasta una temperatura de 20 °C en la parte central. Finalmente se almacenaron a 4 °C hasta la realización de las diferentes mediciones.

3.5.2 DISEÑO EXPERIMENTAL Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

a. DISEÑO EXPERIMENTAL

Con la finalidad de evaluar el efecto simultáneo de la mezcla de tres componentes: (1) carne de porcino, (2) agua y (3) albúmina de huevo, sobre las pérdidas por presión, dureza y color del gel, se usó el método de *D-Optimal*, con restricciones mínimas y máximas sobre los mismos, las cuales se muestran en el Cuadro 6.

Cuadro 6: Restricciones sobre los ingredientes del gel cárnico principal

LÍMITES EN FUNCIÓN DE LA MASA PRINCIPAL (%)
25 < carne de porcino < 29,5
70 < agua < 74,5
0,5 < albúmina de huevo < 3

Para determinar los efectos de los tres componentes ya mencionados, los puntos experimentales fueron seleccionados utilizando el software *Design Expert*® 8.0.7.1. El diseño experimental utilizado fue de mezclas tipo *D-Optimal* y con orden de los ensayos completamente al azar. El modelo polinomial Scheffé del diseño sugerido fue el cuadrático y se propusieron un total de 16 ensayos. El diseño *D-Optimal* es un algoritmo de computación, que utiliza como criterio para la selección de puntos de diseño la minimización del determinante de la matriz inversa $(X'X)^{-1}$, y al hacer esto, también se minimiza la varianza de los coeficientes de regresión estimados para el modelo seleccionado (Espinoza *et al.*, 2006).

De esta manera, el diseño experimental o grupo de mezclas consideradas para el presente trabajo de investigación fueron dieciséis; las mismas que se muestran en el Cuadro 7.

Cuadro 7: Formulaciones del gel cárnico de porcino

FORMULACIÓN	CARNE DE PORCINO (%)	AGUA (%)	ALBÚMINA DE HUEVO (%)
F1	27,11	70,00	2,89
F2	25,01	71,99	3,00
F3	26,03	73,32	0,65
F4	29,50	70,00	0,50
F5	28,10	70,00	1,90
F6	25,00	74,50	0,50
F7	29,50	70,00	0,50
F8	25,00	74,50	0,50
F9	27,04	72,19	0,77
F10	26,11	72,00	1,90
F11	26,03	70,97	3,00
F12	28,31	71,19	0,50
F13	28,10	70,00	1,90
F14	27,04	72,19	0,77
F15	25,00	73,01	1,99
F16	26,11	72,00	1,90

b) ANÁLISIS ESTADÍSTICO

- Caracterización de materias primas

Los resultados del análisis proximal de las materias primas se expresaron como el promedio \pm desviación estándar de tres repeticiones (n=3).

- **Análisis de regresión múltiple de las características físico-químicas**

Luego de realizar la medida de las propiedades físico-químicas y tecnológicas (pérdida de agua por presión, dureza y color), éstas fueron reportadas y expresadas como el promedio de las observaciones registradas en cada lote de gel cárnico de porcino (tres repeticiones por cada formulación).

Posteriormente, con los resultados de pérdida de agua por presión, dureza y color obtenidos en cada una de las formulaciones experimentales del gel cárnico, se realizó un Análisis de Regresión Múltiple (Método de Mínimos Cuadrados), con la finalidad de obtener la ecuación del Polinomio Canónico de Scheffé que describa la dependencia de estas tres propiedades en función de los ingredientes estudiados (Cornell, 2002).

La determinación de dicho polinomio, el análisis de varianza (ANVA) y la prueba de significancia de coeficientes (nivel de significación $\alpha = 0,05$) se llevó a cabo mediante la utilización del programa estadístico *Design-Expert*® 8.0.7.1.

En referencia al ANVA, este consistió, de acuerdo a Cornell (2002) y Aktas (2005), en establecer la significancia estadística del modelo y coeficientes del mismo; además de una Falta de Ajuste (*Lack of Fit*) no significativa. La significancia estadística del modelo y de los coeficientes se estableció mediante la Prueba F de Fischer, debiéndose registrar un valor de probabilidad F (Prob > F) menor a 0,05. 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), debiendo ser el valor de los mismos cercano a 1 o al 100 por ciento.

3.5.3 DETERMINACIÓN DEL POLINOMIO CANÓNICO DE SCHEFFÉ Y EFECTO DE LOS INGREDIENTES PARA LA PÉRDIDA DE AGUA POR PRESIÓN, DUREZA Y COLOR DEL GEL CÁRNICO

a. Pérdida de agua por presión

a.1. Establecimiento del modelo matemático y análisis estadístico

Los valores promedio de pérdida de agua por presión observados en las formulaciones experimentales fueron sometidos a 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). Dicho polinomio correspondió a la siguiente ecuación polinomial de segundo grado:

$$\hat{y} = b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3$$

Donde:

\hat{y} : Pérdida de agua por presión (%)

b_1, b_2, b_3 : Coeficientes lineales.

b_{12}, b_{13}, b_{23} : Coeficientes cuadráticos.

x_1, x_2, x_3 : Porcentajes de carne de porcino, agua y albúmina de huevo respectivamente, presentes en la masa principal (%).

Posteriormente, se realizaron el Análisis de Varianza y la Prueba de Significancia de los coeficientes del modelo estimado.

a.2 Efecto de los ingredientes sobre la pérdida de agua por presión

Haciendo uso del programa estadístico *Design Expert*[®] 8.0.7.1 (*Trial Version*), se graficó la superficie de respuesta (grafico tridimensional), el ploteo de contornos (gráfico bidimensional) y el gráfico denominado “Trazos de Cox”, al modelo que le corresponde cada propiedad estudiada. El objetivo de los dos primeros gráficos fue de ilustrar en forma amplia la variación de la pérdida de agua por presión en función de los factores estudiados;

mientras que, con los trazos de Cox, se pudo identificar el efecto que cada factor ejerció sobre la propiedad en estudio. De acuerdo a esto, Cornell (2002), menciona que aquel ingrediente, con un trazo de Cox inclinado hacia la derecha o izquierda, tuvo un efecto positivo o negativo, respectivamente; siendo mayor la magnitud de dicho efecto conforme el grado de inclinación fue también mayor. Asimismo, aquel ingrediente con un trazo de Cox horizontal no tuvo influencia alguna sobre la capacidad de retención de agua, siendo clasificado como un ingrediente inactivo.

b. Dureza del gel

b.1. Establecimiento del modelo matemático y análisis estadístico

Los valores promedio de dureza del gel observados en las formulaciones experimentales fueron sometidos a 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). Dicho polinomio correspondió a la siguiente ecuación polinomial de tercer grado:

$$\hat{y} = b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3 + b_{123}X_1X_2X_3 + \delta_{12}X_1X_2(X_1 - X_2) + \delta_{13}X_1X_3(X_1 - X_3) + \delta_{23}X_2X_3(X_2 - X_3)$$

Donde:

\hat{y} : Dureza del gel (N).

b_1, b_2, b_3 : Coeficientes lineales.

b_{12}, b_{13}, b_{23} : Coeficientes cuadráticos.

$\delta_{12}, \delta_{13}, \delta_{23}$: Coeficientes cúbicos.

x_1, x_2, x_3 : Porcentajes de carne de porcino, agua y albúmina de huevo respectivamente, presentes en la masa principal (%).

A continuación, se realizaron el Análisis de Varianza y la Prueba de Significancia de los coeficientes del modelo estimado.

b.2 Efecto de los ingredientes sobre la dureza del gel

Se graficó la superficie de respuesta (grafico tridimensional), el ploteo de contornos (gráfico bidimensional) y el gráfico denominado “Trazos de Cox”, correspondientes al modelo que le corresponde cada propiedad estudiada, aplicando el programa estadístico *Design Expert*® 8.0.7.1 (*Trial Version*). El objetivo de los dos primeros gráficos fue de ilustrar en forma amplia la variación de la dureza del gel en función de los factores estudiados; mientras que, con los trazos de Cox, se pudo identificar el efecto que cada factor ejerció sobre la propiedad en estudio. Aquel ingrediente con un trazo de Cox inclinado hacia la derecha o izquierda tuvo un efecto positivo o negativo, respectivamente, sobre la capacidad de retención de agua; siendo mayor la magnitud de dicho efecto conforme el grado de inclinación fue también mayor. Asimismo, aquel ingrediente con un trazo de Cox horizontal no tuvo influencia alguna sobre la dureza del gel, siendo clasificado como un ingrediente inactivo (Cornell, 2002).

c. Color del gel

c.1. Establecimiento del modelo matemático y análisis estadístico

Los valores promedio del color del gel (a^*) observados en las formulaciones experimentales fueron sometidos a 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). Dicho polinomio correspondió a la siguiente ecuación polinomial de tercer grado:

$$\hat{y} = b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_{12}X_1X_2 + b_{13}X_1X_3 + b_{23}X_2X_3 + b_{123}X_1X_2X_3 + \delta_{12}X_1X_2(X_1 - X_2) + \delta_{13}X_1X_3(X_1 - X_3) + \delta_{23}X_2X_3(X_2 - X_3)$$

Donde:

\hat{y} : Color del gel.

b_1, b_2, b_3 : Coeficientes lineales.

b_{12}, b_{13}, b_{23} : Coeficientes cuadráticos.

$\delta_{12}, \delta_{13}, \delta_{23}$: Coeficientes cúbicos.

x_1 , x_2 , x_3 : Porcentajes de carne de porcino, agua y albúmina de huevo respectivamente, presentes en la masa principal (%).

Seguidamente, se realizaron el Análisis de Varianza y la Prueba de Significancia de los coeficientes del modelo estimado.

c.2 Efecto de los ingredientes sobre el color del gel

Al igual que en los dos casos anteriores, para el caso del color del gel se graficaron la superficie de respuesta (gráfico tridimensional), el ploteo de contornos (gráfico bidimensional) y el gráfico denominado “Trazos de Cox”, correspondientes al modelo que le corresponde cada propiedad estudiada, aplicando el programa estadístico *Design Expert*[®] 8.0.7.1 (*Trial Version*). El objetivo de los dos primeros gráficos fue de ilustrar en forma amplia la variación del color del gel en función de los factores estudiados; mientras que, con los trazos de Cox, se pudo identificar el efecto que cada factor ejerció sobre la propiedad en estudio. Aquel ingrediente con un trazo de Cox inclinado hacia la derecha o izquierda tuvo un efecto positivo o negativo, respectivamente, sobre la capacidad de retención de agua; siendo mayor la magnitud de dicho efecto conforme el grado de inclinación fue también mayor. Asimismo, aquel ingrediente con un trazo de Cox horizontal no tuvo influencia alguna sobre la dureza del gel, siendo clasificado como un ingrediente inactivo (Cornell, 2002).

3.5.4 OPTIMIZACIÓN SIMULTÁNEA DE RESPUESTAS

Luego de obtenidos los modelos matemáticos para cada una de las respuestas estudiadas, se realizó la optimización simultánea de las mismas, de acuerdo a la metodología descrita por Cornell (2002); asignando un valor de 1 para el exponente t en la función de deseabilidad.

El objetivo de esta optimización fue encontrar aquella mezcla que cumpliera de la mejor forma con determinadas restricciones, impuestas sobre cada una de las respuestas. Dichas restricciones fueron establecidas en base a los resultados observados para un gel cárnico elaborado con concentrado funcional de soya (Gel Patrón), debido a que actualmente el

concentrado funcional de soya es el aditivo más utilizado como sustituto de la proteína de la carne.

Tomando en cuenta este criterio, la formulación seleccionada como óptima debía contar con las siguientes características:

- Pérdida de agua por presión igual a la del gel patrón.
- Dureza del gel igual a la del gel patrón.
- Color del gel igual al del gel patrón.

De esta manera, las funciones de deseabilidad utilizadas fueron:

- Para la Pérdida de agua por presión

$$d1 = \left\{ \left[\frac{\hat{y}_1 - Pp_{gl}}{Pp_{min} - Pp_{gl}} \right] \right.$$

$$\left. \begin{array}{l} , \hat{y}_1 \leq Pp_{gl} \\ , Pp_{min} < \hat{y}_1 < Pp_{gl} \\ , \hat{y}_1 \geq Pp_{min} \end{array} \right.$$

- Para la Dureza del gel

$$d2 = \left\{ \left[\frac{\hat{y}_2 - Dureza_{gl}}{Dureza_{max} - Dureza_{gl}} \right] \right.$$

$$\left. \begin{array}{l} , \hat{y}_2 \leq Dureza_{gl} \\ , Dureza_{gl} < \hat{y}_2 < Dureza_{max} \\ , \hat{y}_2 \geq Dureza_{max} \end{array} \right.$$

- Para el Color del gel

$$d3 = \left\{ \left[\frac{\hat{y}_3 - Color_{gl}}{Color_{max} - Color_{gl}} \right] \right.$$

$$\left. \begin{array}{l} , \hat{y}_3 \leq Color_{gl} \\ , Color_{gl} < \hat{y}_3 < Color_{max} \\ , \hat{y}_3 \geq Color_{max} \end{array} \right.$$

Donde:

- d1: Deseabilidad para la Pérdida de agua por presión.
- d2: Función de Deseabilidad para la Dureza del gel.
- d3: Función de Deseabilidad para el Color del gel.
- \hat{y}_1 : Pérdida de agua por presión estimada (%).
- \hat{y}_2 : Dureza del gel estimada (N).
- \hat{y}_3 : Color del gel
- Pp gl: Pérdida de agua por presión del gel patrón (%).
- Pp_{MIN}: Mínima Pérdida de agua por presión observada (%).
- Dureza gl: Dureza del gel patrón (N).
- Dureza_{MAX}: Máxima dureza del gel observada (N).
- Color gl: Color del gel patrón
- Color_{MAX}: Máximo color del gel observado.

El valor denominado Deseabilidad Global (D) representó la media geométrica de los valores de las deseabilidades individuales, es decir:

$$D = (d1 \times d2 \times d3)^{1/3}$$

La formulación de gel cárnico, elaborado con albúmina de huevo seleccionada como óptima, fue aquel que tuvo el mayor valor deseabilidad global (D). Cornell (2002), indica que, si bien se tuviese un menor valor D, éste puede representar una buena alternativa al considerar factores adicionales. Para la realización de esta optimización simultánea, se utilizó también el software *Design Expert*® 8.0.7.1 (*Trial version*).

3.5.5 CARACTERIZACIÓN DEL GEL PATRÓN Y LA FORMULACIÓN ÓPTIMA

Después de la elaboración del gel cárnico con concentrado funcional de soya (Gel Patrón) y con albúmina de huevo (Formulación Óptima), éstos fueron caracterizados y comparados respecto a su composición químico proximal. Los resultados de dichos análisis se expresaron como el promedio \pm desviación estándar de tres repeticiones (n=3).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 ANÁLISIS PROXIMAL DE LOS INGREDIENTES PRINCIPALES

4.1.1 CARNE DE PIERNA DE CERDO

Los resultados obtenidos en el análisis proximal de la carne magra de pierna de cerdo se reportan en el Cuadro 8. Como se puede observar los valores obtenidos son similares a los reportados por Salvá (2000), quien indica que la pierna de cerdo contiene en promedio 71,74 por ciento de humedad, 19,94 por ciento de proteína, 7,43 por ciento de grasa y 1,13 por ciento de ceniza. Los valores obtenidos también son similares a los reportados por Elías (2002), quien encontró en la carne magra de cerdo, en promedio, 72 por ciento de humedad, 18,8 por ciento de proteína, 7 por ciento de grasa y 2,2 por ciento de ceniza.

Cuadro 8: Análisis proximal de la pierna de cerdo

CARACTERÍSTICA	PORCENTAJE (b.h.)*
Humedad	73,92 ± 0,21
Proteína	17,62 ± 0,37
Grasa	7,34 ± 0,14
Ceniza	1,12 ± 0,01

*Base húmeda

4.1.2 CLARA ALTO GEL

Para el caso de la Clara Alto gel (Clara deshidratada pasteurizada) la composición química proximal es presentada en el Cuadro 9. Como se puede observar predomina su elevado contenido proteico (87,09%). Este alto valor, se debe a que el albumen contiene numerosas proteínas globulares, tales como ovoalbúmina, la conalbúmina, el ovomucoide, entre otras (Cheftel, 1989).

Cuadro 9: Análisis proximal de la Clara Alto Gel

CARACTERÍSTICA	PORCENTAJE (b.h.)*
Humedad	6,50 ± 2,0
Proteína	87,09 ± 2,5
Grasa	0,99 ± 0,05
Ceniza	5,40 ± 0,05

*Base húmeda

4.1.3 CONCENTRADO FUNCIONAL DE SOYA

La composición química proximal del concentrado funcional de soya (Promine HV SQ®) se muestra en el Cuadro 10. En esta composición predominan tanto las proteínas como los glúcidos con un 66 por ciento y 21,6 por ciento respectivamente. Respecto a esto, Cheftel (1989) indica que las globulinas representan por sí solas, más del 70 por ciento de las proteínas del grano de soya.

Cuadro 10: Análisis proximal del concentrado funcional de soya

CARACTERÍSTICA	PORCENTAJE (b.h.)*
Humedad	5,00 ± 0,36
Proteína	66,00 ± 0,81
Grasa	0,70 ± 0,06
Carbohidratos	21,60 ± 1,04
Ceniza	6,70 ± 0,21

*Base húmeda

4.2 EFECTO DE LOS INGREDIENTES SOBRE LA PÉRDIDA DE AGUA POR PRESIÓN, DUREZA Y COLOR DEL GEL CÁRNICO DE PORCINO

4.2.1 PÉRDIDA DE AGUA POR PRESIÓN

a. Establecimiento del modelo matemático y análisis estadístico

Los valores observados y estimados de las pérdidas de agua por presión, correspondientes a cada una de las formulaciones de geles cárnicos, son representados en el Cuadro 11.

Cuadro 11: Valores observados y estimados de la pérdida de agua por presión (%) de las formulaciones experimentales de los geles cárnicos

FORMULACIÓN	CARNE DE PORCINO (%) (X ₁)	AGUA (%) (X ₂)	ALBÚMINA DE HUEVO (%) (X ₃)	PÉRDIDA DE AGUA POR PRESIÓN (%) OBSERVADO (Y ₁)	PÉRDIDA DE AGUA POR PRESIÓN (%) ESTIMADO (Ŷ ₁)
1	27,11	70,00	2,89	43,26	43,79
2	25,01	71,99	3,00	46,85	45,72
3	26,03	73,32	0,65	55,39	55,93
4	29,50	70,00	0,50	54,44	54,26
5	28,10	70,00	1,90	46,93	46,86
6	25,00	74,50	0,50	53,34	52,04
7	29,50	70,00	0,50	54,44	54,28
8	25,00	74,50	0,50	53,34	53,98
9	27,04	72,19	0,77	55,72	54,91
10	26,11	72,00	1,90	50,35	50,92
11	26,03	70,97	3,00	45,50	45,07
12	28,31	71,19	0,50	56,76	57,64
13	28,10	70,00	1,90	46,93	46,03

« Continuación »

14	27,04	72,19	0,77	55,72	55,48
15	25,00	73,01	1,99	49,76	50,98
16	26,11	72,00	1,90	50,35	48,52

Luego de someter los valores observados al análisis de regresión múltiple correspondiente, se obtuvo la siguiente ecuación polinomial de segundo grado:

$$\hat{y} = -33,71x_1 - 4,59x_2 + 13,99x_3 + 0,66x_1x_2 - 0,70x_1x_3 + 0,18x_2x_3 \quad (1)$$

Donde \hat{y} representa la pérdida de agua por presión estimada o predicha (%); mientras que x_1 , x_2 y x_3 corresponden a los porcentajes de carne de porcino, agua y albúmina de huevo, respectivamente, presentes en la mezcla. Los resultados del ANVA de dicho modelo se muestran en el Cuadro 12.

Cuadro 12: Análisis de Varianza (ANVA) de la ecuación de regresión para la pérdida de agua por presión

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	VALOR F	PROB> F
Modelo	287,10	5	57,42	51,85	< 0,0001
Falta de Ajuste	5,79	5	1,16	1,09	0,4617
Error puro	5,29	5	1,06		
Total	298,18	15			

$$\text{Media} = 51,03; \text{Desviación estándar (SD)} = 1,05; R^2 = 0,9629; R^2_{\text{adj}} = 0,9443$$

Teniendo los valores del cuadro de ANVA se procedió a comparar el valor de $F_{\text{calculado}}$ y el valor de F_{tabular} , siendo este último valor de $F_{(5,10, \alpha = 0.05)} = 3,326$ y $F_{(5,10, \alpha = 0.01)} = 5,636$, en ambos casos menor al valor F calculado, por lo que se puede decir que, el modelo cuadrático es significativo. Por otro lado, también se mostró una falta de ajuste no

significativa, dado que, para esta fuente de variación, se registró un valor F muy bajo (1,09), en comparación con el valor tabular $F_{(5,5, \alpha=0.05)} = 5,050$ y $F_{(5,5, \alpha=0.01)} = 10,967$. Según Cornell (2002), con respecto al error puro, la suma de cuadrados es calculada utilizando las repeticiones consideradas en el diseño experimental; por lo que se puede inferir que, debido a su bajo valor en comparación con la suma de cuadrados total, el experimento tuvo buena reproducibilidad.

Considerando el coeficiente de determinación (R^2), se puede decir que el 96,29 por ciento de variación en la respuesta es explicada por el modelo seleccionado. Dado que este valor es cercano al 100 por ciento, se puede afirmar nuevamente que el modelo es altamente significativo, siendo además suficiente para representar la relación existente entre la respuesta (capacidad de retención de agua) y las variables estudiadas (porcentaje de carne de porcino, agua y albúmina de huevo).

Aktas (2005) utiliza el coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}) en lugar de R^2 como una medida de la bondad de ajuste de la ecuación de regresión a las observaciones experimentales; mencionando que, cuando su valor es cercano a la unidad, el grado de correlación entre los valores observados y los predichos por el modelo es alta. Debido a que el valor de R^2_{adj} es igual a 0,9443, el modelo de la ecuación para la propiedad de capacidad de retención de agua se ajusta de manera adecuada a los datos experimentales.

Con respecto a los coeficientes de la Ecuación (1), estos fueron analizados mediante la prueba F de Fischer; con la finalidad de eliminar aquellos que no presentaran significancia estadística (nivel de significación $\alpha = 0,05$). El Cuadro 13 presenta los resultados de dicho análisis.

Utilizando el criterio mencionado por Cornell (2002), de que cuando el valor p es mayor a 0,05 o 0,01 (dependiendo del nivel de significancia escogido), el coeficiente asociado a dicho valor es no significativo; mientras que, si el valor p es menor a cualquiera de los valores antes referidos, queda establecida su significancia. De lo dicho anteriormente, se puede afirmar que el coeficiente estimado X_1X_2 es significativo, por el contrario, los dos coeficientes estimados X_1X_3 , X_2X_3 no son significativos, por tener un valor p mayor a 0,05 como se puede observar en el Cuadro 13.

Cuadro 13: Prueba de significancia de los coeficientes de la ecuación de regresión para la pérdida de agua por presión del gel cárnico

TÉRMINO DEL MODELO	COEFICIENTE ESTIMADO	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	VALOR F	P VALUE PROB > F
Lineales	X ₁ = -33,71 X ₂ = -4,59 X ₃ = 13,99	249,78	2	124,89	112,78	< 0,0001
X ₁ X ₂	0,66	17,95	1	17,95	16,21	0,0024
X ₁ X ₃	-0,70	3,01	1	3,01	2,72	0,1303
X ₂ X ₃	0,18	0,17	1	0,17	0,16	0,702

b. Efecto de los ingredientes sobre la pérdida de agua por presión del gel cárnico

En las Figuras 8 y 9 se muestran la superficie de respuesta y el ploteo de contornos respectivamente para la pérdida de agua por presión, en función del porcentaje de carne de porcino (X₁), agua (X₂) y de albúmina de huevo (X₃).

A continuación, en la Figura 10, se presenta el gráfico de los trazos de Cox, donde se analizó detalladamente la influencia de los componentes de la mezcla sobre la propiedad de pérdida de agua por presión (%) del gel cárnico.

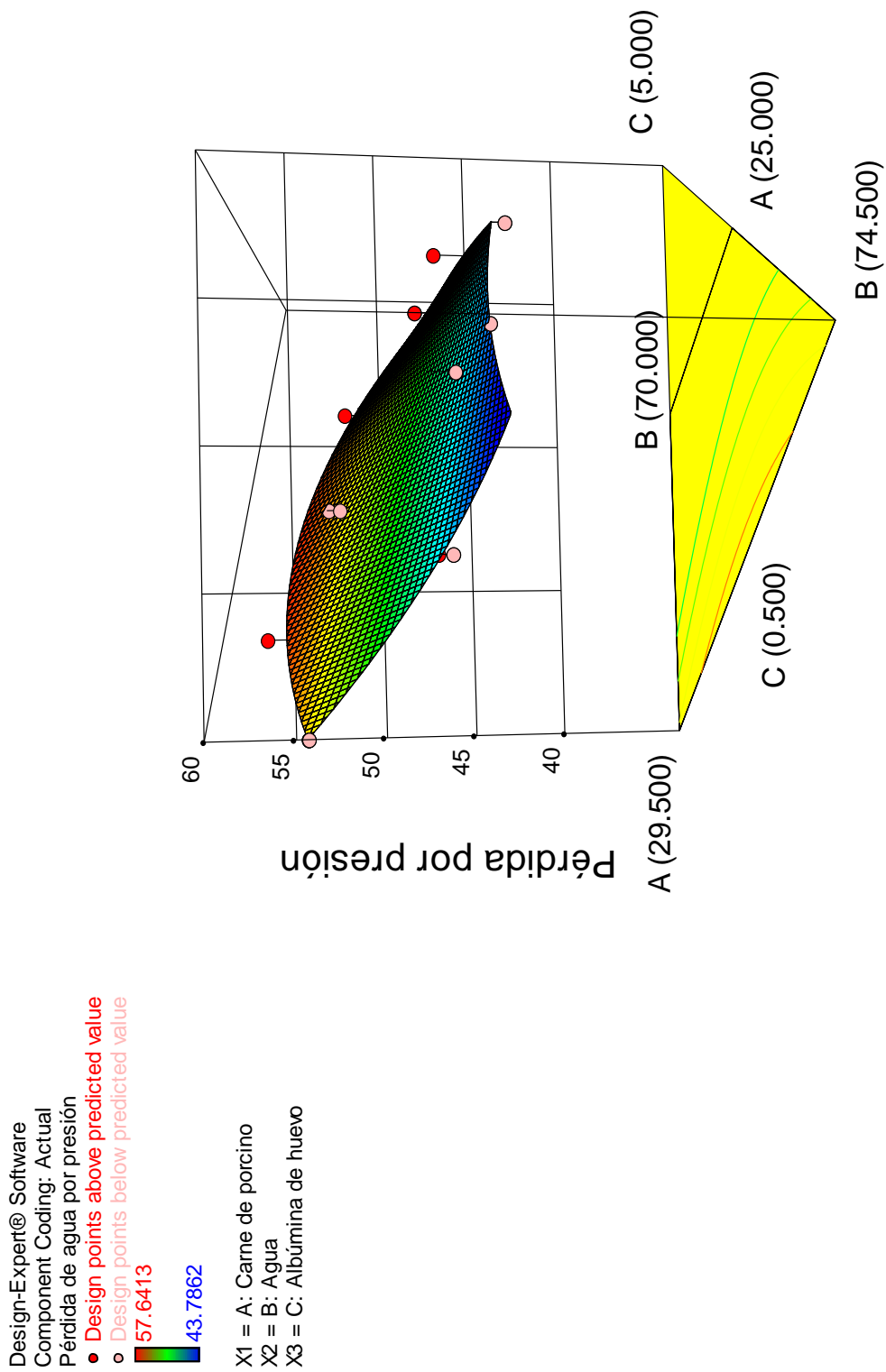


Figura 8: Superficie de Respuesta para la pérdida de agua por presión del gel cárnico en función del porcentaje de carne de porcino (x_1), agua (x_2) y albúmina de huevo (x_3)

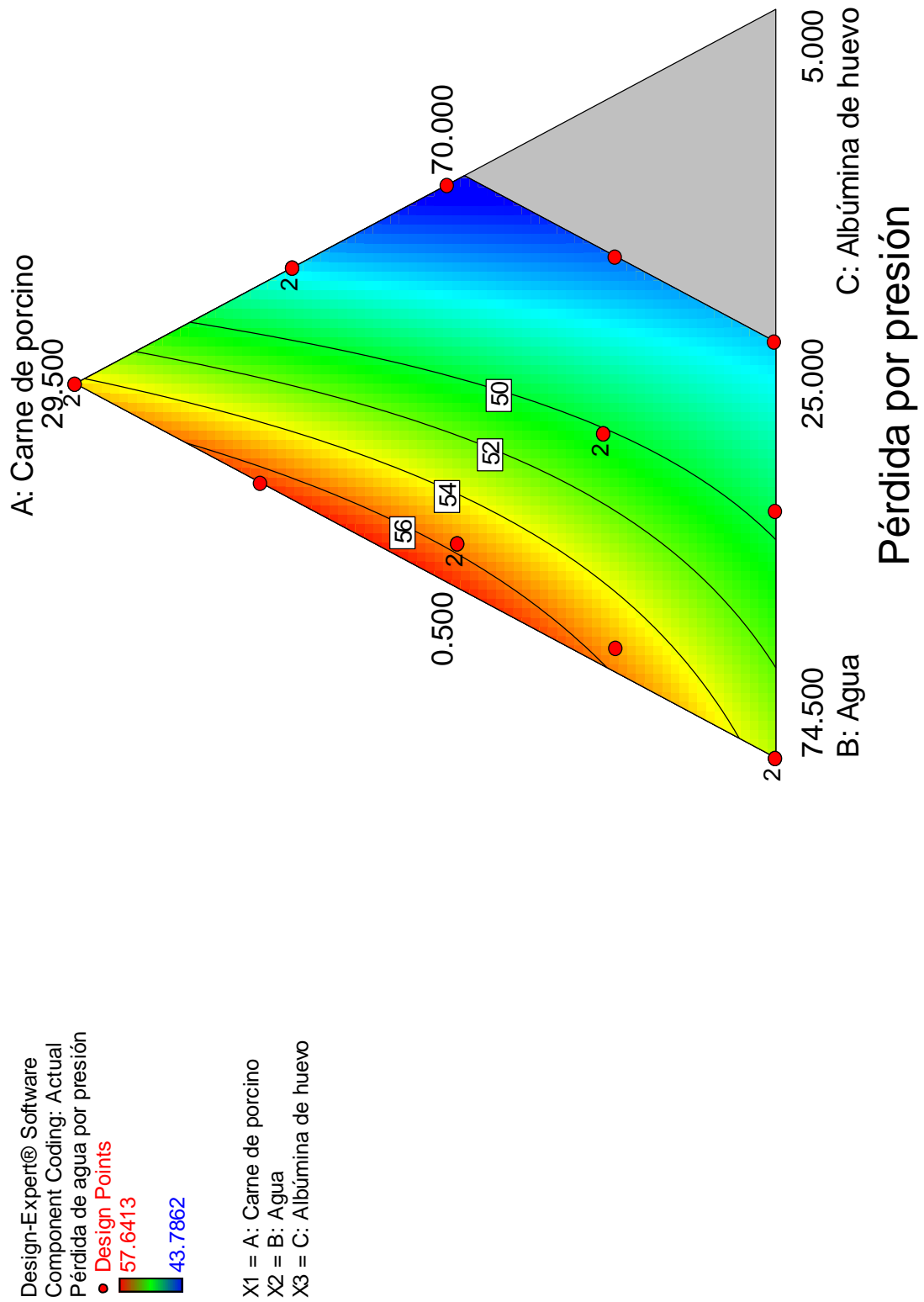


Figura 9: Ploteo de contornos de la superficie de respuesta para la pérdida de agua por presión del gel cárnico

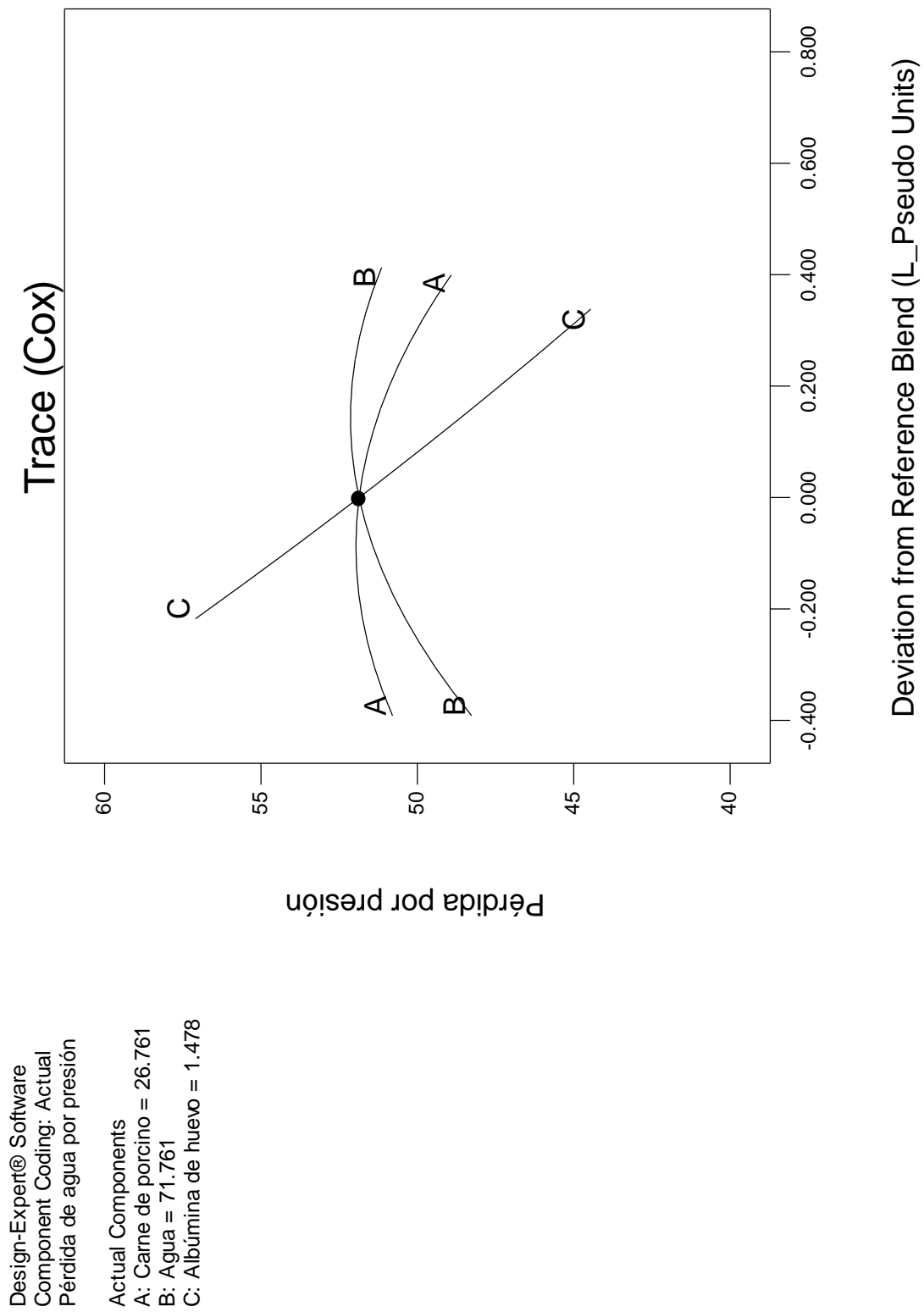


Figura 10: Trazos de Cox para evaluar el efecto de cada ingrediente sobre la pérdida de agua por presión del gel cárnico

Se puede observar, en la Figura 10, que la albúmina de huevo (C) tiene un mayor efecto sobre la pérdida de agua por presión, debido a que presenta mayor pendiente de inclinación. Cornell (2002) indica que aquel ingrediente con un trazo de Cox inclinado hacia la izquierda tiene un efecto negativo sobre la variable respuesta, ya que a mayor cantidad del ingrediente menor será la pérdida de agua por presión del gel cárnico, lo cual indica un efecto positivo. Al respecto, Lin *et al.* (2000) mencionan que la carne con bajo porcentaje de agua liberada o alto porcentaje de agua ligada por el método de presión es considerada como una alta capacidad de retención de agua. Fischer (1994) reporta que las proteínas del huevo contribuyen a la formación de la red proteica, mejorando así las propiedades de retención de agua.

Con referencia a la carne de porcino (A), se determinó que, a mayor cantidad de este componente, disminuye la pérdida de agua por presión. Sin embargo, Liu *et al.* (2011) mencionan que, la carne de cerdo desarrolla una estructura de gel más pobre a altas temperaturas donde el tamaño de los poros es más amplio, por lo cual, tiene una pobre capacidad de retención de agua en comparación con otras carnes.

Sobre la cantidad de agua (B) sobre la capacidad de retención de agua, ésta presenta un efecto que ejerce considerablemente sobre la respuesta, a mayor cantidad de agua añadida, mayor pérdida por presión.

4.2.2 DUREZA DEL GEL

a. Establecimiento del modelo matemático y análisis estadístico

Los valores observados y estimados de dureza del gel (N), correspondientes a cada una de las formulaciones de geles cárnicos, son representados en el Cuadro 14.

Cuadro 14: Valores observados y estimados de la dureza de las formulaciones experimentales de los geles cárnicos

FORMULACIÓN	CARNE DE PORCINO (%) (X ₁)	AGUA (%) (X ₂)	ALBÚMINA DE HUEVO (%) (X ₃)	DUREZA DEL GEL (N) OBSERVADA* (Y ₂)	DUREZA DEL GEL (N) ESTIMADA* (Ŷ ₂)
1	27,11	70,00	2,89	5,13	5,31
2	25,01	71,99	3,00	5,77	5,93
3	26,03	73,32	0,65	11,54	11,36
4	29,50	70,00	0,50	8,33	8,34
5	28,10	70,00	1,90	10,62	10,69
6	25,00	74,50	0,50	12,45	12,36
7	29,50	70,00	0,50	8,33	8,34
8	25,00	74,50	0,50	12,45	12,59
9	27,04	72,19	0,77	13,07	13,41
10	26,11	72,00	1,90	7,66	7,46
11	26,03	70,97	3,00	5,82	5,44
12	28,31	71,19	0,50	8,15	8,06
13	28,10	70,00	1,90	10,62	10,38
14	27,04	72,19	0,77	13,07	12,87
15	25,00	73,01	1,99	6,85	6,66
16	26,11	72,00	1,90	7,66	8,07

Después de someter los valores observados al análisis de regresión múltiple correspondiente, se obtuvo la siguiente ecuación polinomial de tercer grado:

$$\hat{y} = -932,21x_1 + 57,46x_2 + 71416,84x_3 + 16,46x_1x_2 - 1106,55x_1x_3 - 1084,59x_2x_3 + 7,76x_1x_2x_3 + 0,13x_1x_2(x_1 - x_2) + 4,00x_1x_3(x_1 - x_3) + 3,67x_2x_3(x_2 - x_3) \quad (2)$$

Donde \hat{y} representa la dureza del gel estimada o predicha (N); mientras que x_1 , x_2 y x_3 corresponden a los porcentajes de carne de porcino, agua y albúmina de huevo, respectivamente, presentes en la mezcla.

Los resultados del ANVA de dicho modelo se muestran en el siguiente cuadro.

Cuadro 15: Análisis de Varianza (ANVA) de la ecuación de regresión para la dureza del gel

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	VALOR F	PROB > F
Modelo	25,18	3	8,39	68,73	< 0,0001
Falta de Ajuste	0,33	1	0,33	4,05	0,1004
Error puro	0,4	5	0,081		
Total	25,91	9			

$$\text{Media} = 9,20; \text{Desviación estándar (SD)} = 0,35; R^2 = 0,9936; R^2_{\text{adj}} = 0,9840$$

Como se puede apreciar, el modelo propuesto fue altamente significativo, debido a su valor F calculado (68,73) que resultó ser mayor en comparación al valor tabular $F_{(3,6, \alpha = 0.05)} = 4,757$. Este modelo mostró también una falta de ajuste no significativo, a un nivel de confianza del 95%, dado que para esta fuente de variación se registró un valor F bajo (4,05) en comparación con los valores tabulares $F_{(1,5, \alpha = 0.05)} = 6,608$. Asimismo, considerando la suma de cuadrados del error puro, se puede inferir que, debido a su bajo valor en comparación con la suma de cuadrados total, el experimento tuvo buena reproducibilidad.

El Coeficiente de Determinación (R^2) igual 0,9936, indica que el 99,36 por ciento de la variación en la respuesta fue explicada por el modelo seleccionado. Por otro lado, teniendo en cuenta el Coeficiente de Determinación Ajustado (R^2_{adj}), cuyo valor fue igual a 0,9840, fue posible establecer que el modelo de la Ecuación (2) se ajustó de manera adecuada a los datos experimentales referidos en el Cuadro 14.

El Cuadro 16 se resume los resultados del análisis de los coeficientes del modelo estimado. Estos fueron analizados mediante la prueba de F de; con la finalidad de eliminar aquellos que no presentaran significancia estadística (nivel de significación $\alpha= 0,05$).

Cuadro 16: Prueba de significancia de los coeficientes de la ecuación de regresión para la dureza del gel cárnico

TÉRMINO DEL MODELO	COEFICIENTE ESTIMADO	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	VALOR F	P VALUE PROB> F
Lineales	X ₁ = -932,21 X ₂ = 57,46 X ₃ =71416,84	64,27	2	32,135	263,18	< 0,0001
X ₁ X ₂	16,46	0,95	1	0,95	7,80	0,0315
X ₁ X ₃	-1106,55	9,91	1	9,91	81,15	0,0001
X ₂ X ₃	-1084,59	8,74	1	8,74	71,55	0,0001
X ₁ X ₂ X ₃	7,76	9,38	1	9,38	76,85	0,0001
X ₁ X ₂ (X ₁ -X ₂)	0,13	0,99	1	0,99	8,15	0,029
X ₁ X ₃ (X ₁ -X ₃)	4,00	11,97	1	11,97	98,07	< 0,0001
X ₂ X ₃ (X ₂ -X ₃)	3,67	8,25	1	8,25	67,61	0,0002

Utilizando el criterio mencionado por Cornell (2002), de que cuando el valor p es mayor a 0,05 ó 0,01 (dependiendo del nivel de significación escogido), el coeficiente asociado a dicho valor es no significativo; mientras que, si el valor p es menor a cualquiera de los valores antes referidos, la significancia del coeficiente en cuestión queda establecida, se puede afirmar que todos los coeficientes analizados, fueron significativos al 95% de nivel de confianza.

b. Efecto de los ingredientes sobre la dureza del gel cárnico de porcino

Las Figuras 11 y 12 muestran la superficie de respuesta y el ploteo de los contornos, respectivamente, para el análisis de dureza del gel cárnico evaluado, en función al porcentaje de carne de porcino (X₁), agua (X₂) y albúmina de huevo (X₃). Mientras que, en

la Figura 13, se presenta el gráfico de los trazos de Cox, donde se analiza detalladamente la influencia de los componentes de la mezcla sobre la propiedad de dureza (N) del gel cárnico.

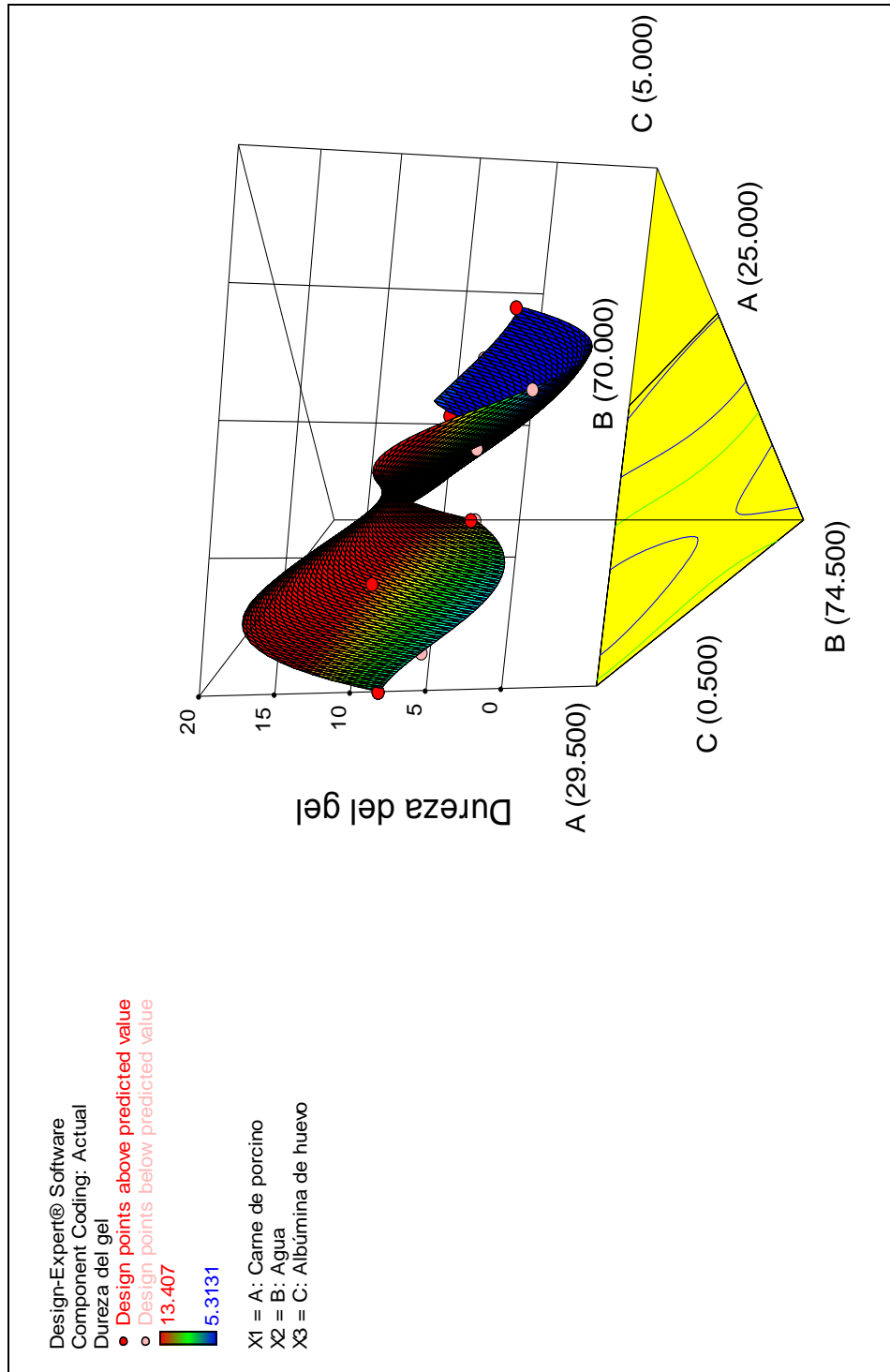


Figura 11: Superficie de Respuesta para la dureza del gel cárnico en función del porcentaje de carne de porcino (x1), agua (x2) y albúmina de huevo (x3)

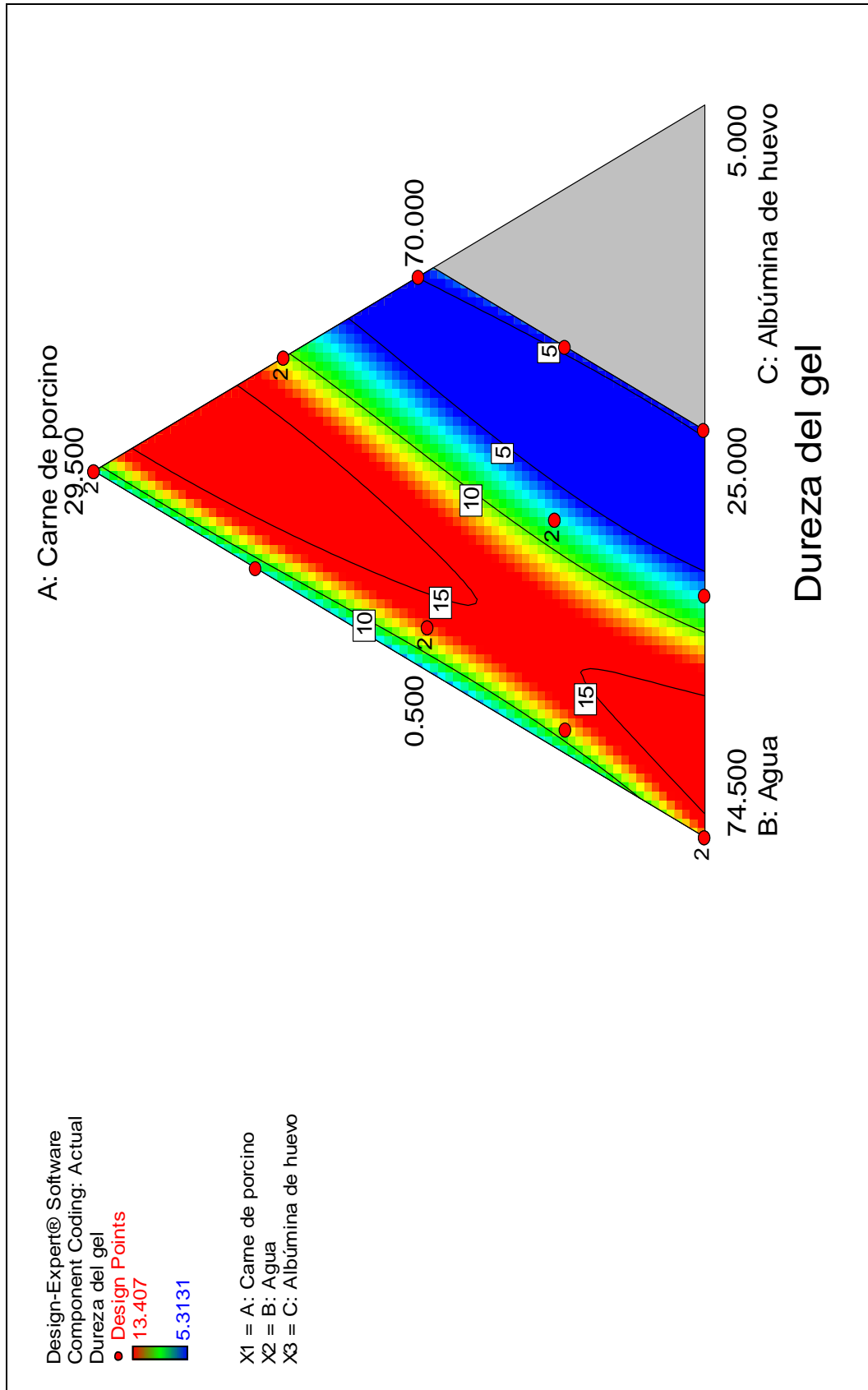


Figura 12: Ploteo de contornos de la superficie de respuesta para la dureza del gel cárnico

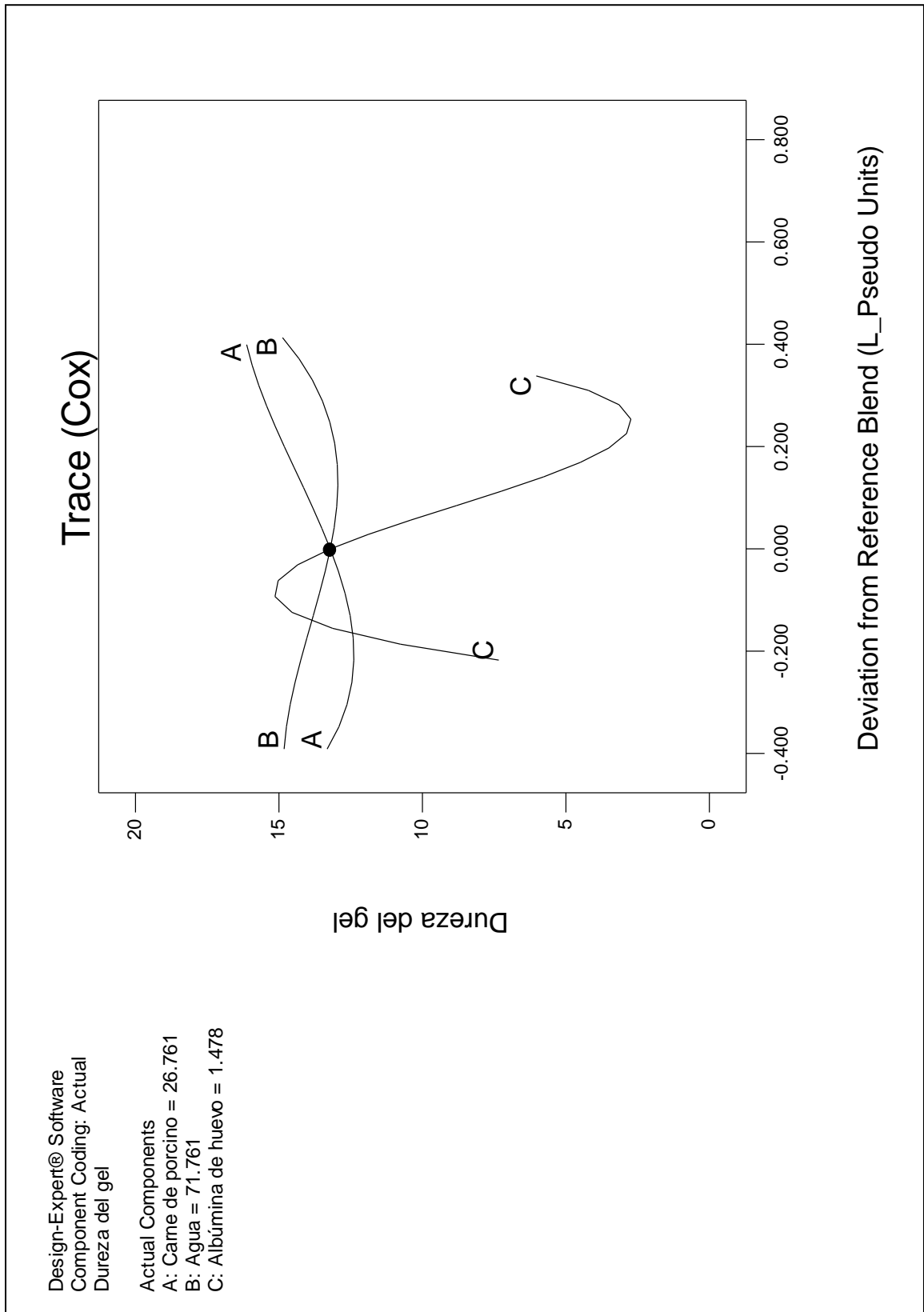


Figura 13: Trazos de Cox para evaluar el efecto de cada ingrediente sobre la dureza del gel cárnico

Se puede apreciar en la Figura 13, el efecto de los tres componentes frente a la respuesta de dureza del gel. En el trazo de Cox asociado a la albúmina de huevo (C) la influencia que ejerce sobre la respuesta es muy grande; dado que se presenta en forma de curva. Por un lado, conforme aumenta el porcentaje de albúmina de huevo en la mezcla, la dureza en el producto final aumenta hasta un punto máximo; luego, si se agrega mayor cantidad de este componente la dureza del gel disminuye notablemente. De la misma manera, Eakpetch *et al.* (2008) observó que la dureza del gel de carne de camarón blanco del Pacífico aumentó cuando se añadió el 0,5 por ciento de albúmina de huevo y se observó una marcada disminución de esta propiedad cuando se incrementó la cantidad del aditivo en el gel. De otra parte, Fernández *et al.* (1998) no observó cambios en la dureza del gel al adicionarle 2 por ciento de albúmina de huevo deshidratada en geles con carne de ave.

Pietrasik (2003) comparó un gel cárnico elaborado con y sin adición de albúmina de huevo, teniendo como resultado que, al añadir albúmina de huevo al 2 por ciento, se incrementó la dureza del gel. Por otro lado, menciona que, al utilizar la albúmina de huevo como único aditivo, se obtuvieron propiedades gelificantes pobres o interfirió con las propiedades de las proteínas miofibrilares. Al respecto, Foegeding *et al.* (1989) menciona que, se ha encontrado que las proteínas del huevo interrumpen la formación del gel cárnico en vez de estabilizarlo; así, indica que esto se debe a que la temperatura de gelificación de estas proteínas está por encima de la temperatura de gelificación de las proteínas de la carne, lo que se traduce en la formación de geles débiles. Del mismo modo, Hammer; citado por Pietrasik (2003) encontró que la albúmina de huevo no tiene un efecto tecnológico positivo en productos emulsionados, debido a que no participan en la estructura del gel, e incluso podría afectar negativamente a la textura al interferir en la gelificación.

4.2.3 COLOR DEL GEL

a. Establecimiento del modelo matemático y análisis estadístico

Los valores observados y estimados de color del gel (a^*), correspondientes a cada una de las formulaciones de geles cárnicos, son representados en el Cuadro 17.

Cuadro 17: Valores observados y estimados del color de las formulaciones experimentales de los geles cárnicos

FORMULACIÓN	CARNE DE PORCINO (%) (X ₁)	AGUA (%) (X ₂)	ALBÚMINA DE HUEVO (%) (X ₃)	COLOR DEL GEL (A*) OBSERVADO* (Y ₃)	COLOR DEL GEL (A*) ESTIMADO* (Ŷ ₃)
1	27,11	70,00	2,89	0,78	1,19
2	25,01	71,99	3,00	1,72	2,16
3	26,03	73,32	0,65	2,23	2,73
4	29,50	70,00	0,50	2,69	3,06
5	28,10	70,00	1,90	3,18	3,70
6	25,00	74,50	0,50	3,77	3,85
7	29,50	70,00	0,50	2,69	3,15
8	25,00	74,50	0,50	3,77	4,60
9	27,04	72,19	0,77	3,50	3,94
10	26,11	72,00	1,90	2,86	3,36
11	26,03	70,97	3,00	2,12	2,68
12	28,31	71,19	0,50	2,49	2,94
13	28,10	70,00	1,90	3,18	3,58
14	27,04	72,19	0,77	3,50	3,91
15	25,00	73,01	1,99	2,03	2,55
16	26,11	72,00	1,90	2,86	3,24

Luego de someter los valores observados al análisis de regresión múltiple correspondiente, se obtuvo la siguiente ecuación polinomial cúbica:

$$\hat{y} = -978,89x_1 + 59,65x_2 + 22479,71x_3 + 17,31x_1x_2 - 363,31x_1x_3 - 340,37x_2x_3 + 2,80x_1x_2x_3 + 0,13x_1x_2(x_1 - x_2) + 1,27x_1x_3(x_1 - x_3) + 1,10x_2x_3(x_2 - x_3) \quad (3)$$

Donde \hat{y} representa el color del gel estimado o predicho (%); mientras que x_1 , x_2 y x_3 corresponden a los porcentajes de carne de porcino, agua y albúmina de huevo, respectivamente, presentes en la mezcla.

En el Cuadro 18 se muestran los resultados del ANVA de dicho modelo.

Cuadro 18: Análisis de Varianza (ANVA) de la ecuación de regresión para el color del gel

FUENTE	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	VALOR F	PROB> F
Modelo	9,64	9	1,07	20,13	0,0008
Falta de Ajuste	0,019	1	0,019	0,32	0,597
Error puro	0,3	5	0,06		
Total	9,959	15			

Media = 3,17; Desviación estándar (SD) = 0,23; $R^2 = 0,9680$, $R^2_{adj} = 0,9199$

Cuadro 19: Prueba de significancia de los coeficientes de la ecuación de regresión para el color del gel cárnico

TÉRMINO DEL MODELO	COEFICIENTE ESTIMADO	SUMA DE CUADRADOS	GRADOS DE LIBERTAD	CUADRADO MEDIO	VALOR F	P VALUE PROB> F
Lineales	$X_1 = -978,89$ $X_2 = 59,65$ $X_3 = 22479,71$	4,20	2	2,10	39,49	0,0004
X_1X_2	17,31	1,05	1	1,05	19,79	0,0043
X_1X_3	-363,31	1,07	1	1,07	20,07	0,0042
X_2X_3	-340,37	0,86	1	0,86	16,17	0,0069
$X_1X_2X_3$	2,80	1,22	1	1,22	23,01	0,0030
$X_1X_2(X_1 - X_2)$	0,13	1,09	1	1,09	20,58	0,0039
$X_1X_3(X_1 - X_3)$	1,27	1,20	1	1,20	22,55	0,0032
$X_2X_3(X_2 - X_3)$	1,10	0,74	1	0,74	13,85	0,0098

b. Efecto de los ingredientes sobre el color del gel cárnico de porcino

Se muestran el gráfico de superficie de respuesta y el ploteo de los contornos, en las Figuras 14 y 15 respectivamente, para el análisis de color del gel cárnico evaluado, en función al porcentaje de carne de porcino (X_1), agua (X_2) y albúmina de huevo (X_3). Con la finalidad de analizar detalladamente la influencia de los tres ingredientes estudiados, se consideraron los denominados “Trazos de Cox” para cada uno de ellos, presentados en la Figura 16.

Los trazos de Cox presentados en la Figura 16 muestran una marcada influencia de los tres componentes sobre el color, sobre todo es notable el efecto de la albúmina de huevo (C).

En general, la componente rojo-verde del color está relacionada con la presencia de pigmentos en el alimento. En los alimentos con base muscular (carne y pescado) la coordenada a^* depende fundamentalmente de hemopigmentos (Mb y Hb) (Fuentes *et al.* 2009). Dado la carne de porcino no tiene gran cantidad de estos pigmentos, éstos atribuyeron en los bajos valores de a^* .

Pietrasik (2003) menciona que, cuando la cantidad de mioglobina en la carne es constante, el color de los productos triturados está principalmente influenciado por los parámetros de procesamiento, el contenido de grasa, los ingredientes no cárnicos, y la adición o pérdida de agua. A su vez, indica que en su experimento, la albúmina de huevo causó alteraciones significativas en el color del gel, produciendo un incremento en la luminosidad (L^*) y de b^* (hacia color amarillo) y una disminución de a^* (menor color rojo).

Fuentes *et al.* (2009) observaron una disminución de los valores de a^* al incorporar agua a su formulación de pasta de merluza tratada térmicamente y ante esto mencionan que el descenso de la coordenada rojo-verde podría deberse a la disminución de la concentración del pigmento de la carne “disuelto” (efecto dilución) al incrementar el agua libre en superficie. Esta agua libre en los tejidos refleja la luz en varias direcciones o la dispersa, lo que hace que la carne aumente su luminosidad (Gunenc, 2007).

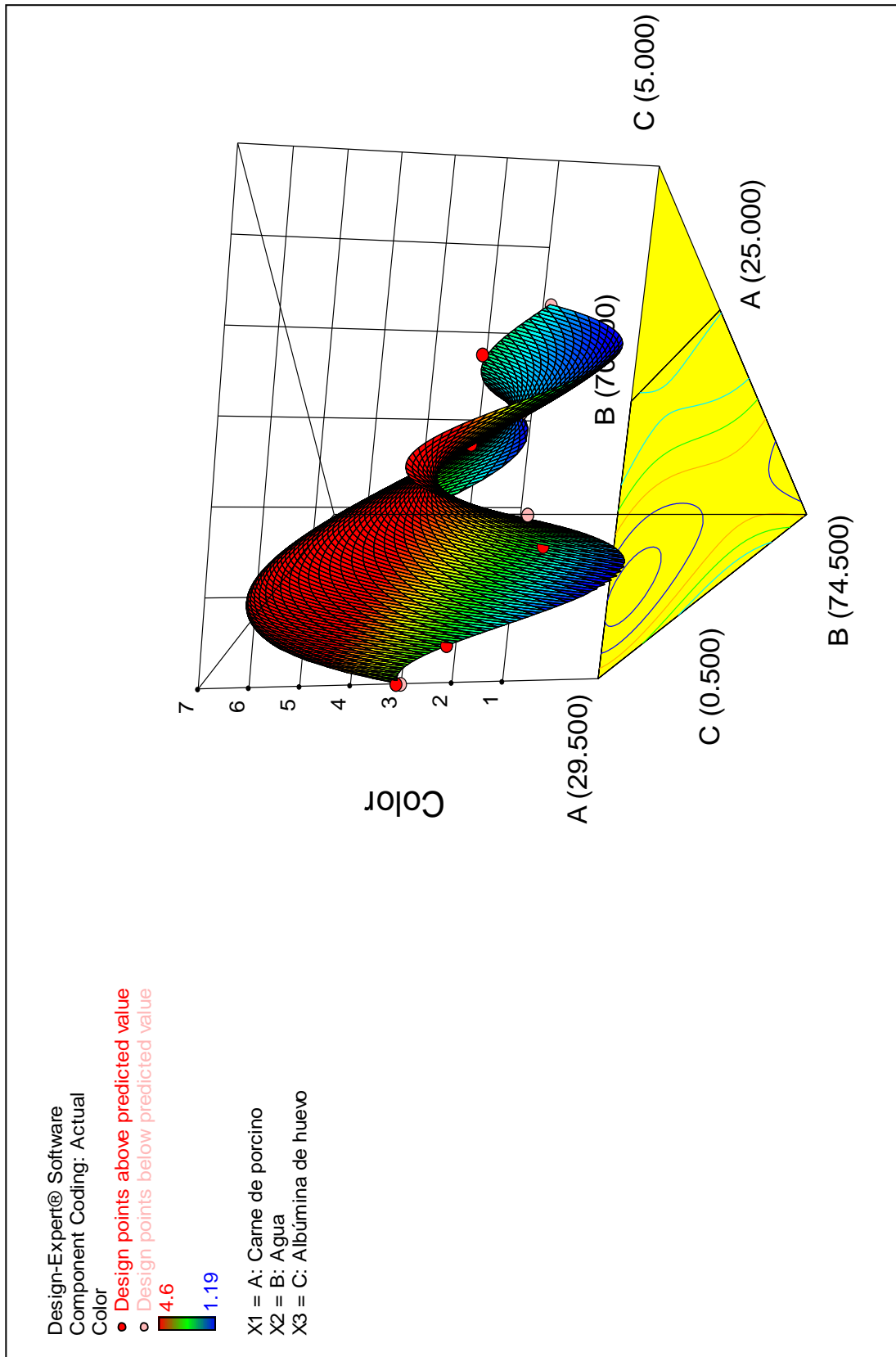


Figura 14: Superficie de Respuesta para el color del gel cárnico en función del porcentaje de carne de porcino (x1), agua (x2) y albúmina de huevo (x3)

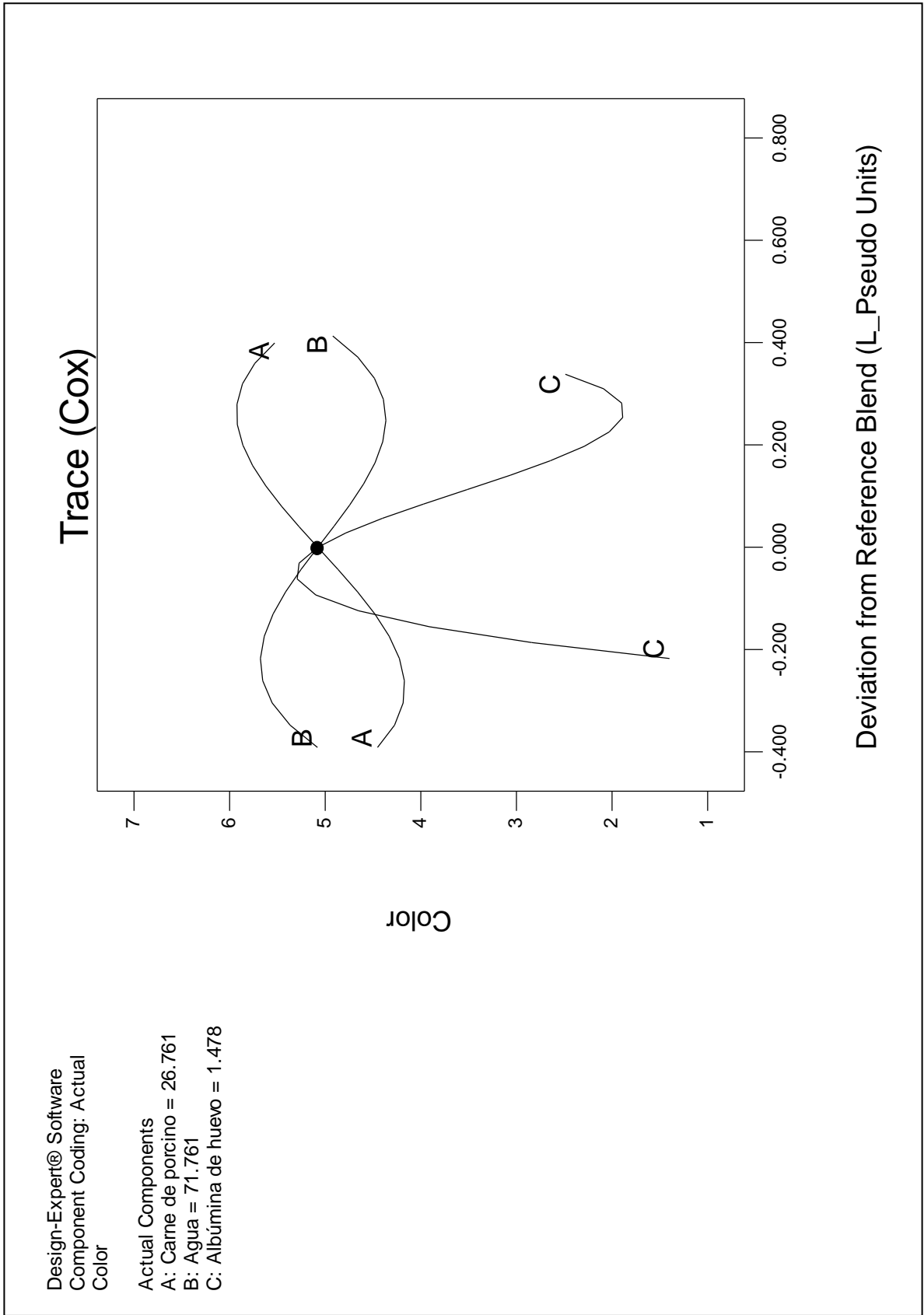


Figura 16: Trazos de Cox para evaluar el efecto de cada ingrediente sobre el color del gel cárnico

4.3 OPTIMIZACIÓN SIMULTÁNEA DE RESPUESTAS

Luego de obtener los modelos matemáticos para cada una de las respuestas estudiadas, se realizó la optimización simultánea de las mismas, de acuerdo a la metodología descrita por Cornell (2002); asignando un valor de 1 para el exponente t en la función de deseabilidad. Para realizar la optimización de las respuestas, se procedió a utilizar las características del gel cárnico elaborado con concentrado funcional de soya (Gel Patrón). Las características del gel referencia se muestran el Cuadro 20.

Cuadro 20: Características del Gel Patrón

CARACTERÍSTICA	VALOR
Pérdida de agua por presión (%)	51,85
Dureza (N)	13,22
Color (a*)	2,06

De esta manera, la formulación seleccionada como óptima debía contar con las siguientes características:

- Pérdida de agua por presión igual a 51,85%.
- Dureza igual a 13,22 N.
- Color (a*) igual a 2,06.

4.4 CARACTERIZACIÓN DE LA FORMULACIÓN ÓPTIMA

En esta etapa se elaboró un gel cárnico con la adición de concentrado funcional de soya (Gel Patrón) en base a la formulación presentada por Pietrasik *et al.* (2007) y un gel cárnico elaborado con albúmina de huevo, basado en la formulación óptima obtenida por el programa *Design Expert* 8.0.7.1. según las restricciones del Cuadro 20.

Cabe resaltar que, para el presente trabajo, las tres variables respuestas tuvieron el mismo nivel de importancia, y que, para la elección de la formulación óptima del gel cárnico con albúmina de huevo, se trabajó con el valor de deseabilidad global más elevado (0,653).

Las formulaciones mencionadas anteriormente se encuentran en el Cuadro 21 y 22 respectivamente.

Cuadro 21: Fórmula para la elaboración del gel cárnico con concentrado funcional de soya (gel patrón) (%)

INGREDIENTES	PORCENTAJE (%)
Carne	36,35
Agua	59,55
Concentrado Funcional de Soya	2,00
Otros*	2,10
Total	100

*Concentraciones de sal común, fosfato de sodio, nitrito de sodio y ascorbato de sodio

Cuadro 22: Fórmula óptima para la elaboración del gel cárnico con albúmina del huevo deshidratada (%)

INGREDIENTES	PORCENTAJE (%)
Carne	25,54
Agua	73,88
Albúmina de Huevo	0,58
Total	100

*Porcentaje se reporta en referido a la masa principal

Luego, las muestras del gel cárnico patrón y la formulación óptima, fueron caracterizadas respecto a su composición química proximal, como se presenta en el Cuadro 23. Cabe resaltar la diferencia entre el porcentaje de concentrado funcional de soya (2%) y de albúmina de huevo (0,58%) que se usan en ambas formulaciones.

Cuadro 23: Análisis proximal del gel cárnico elaborado con concentrado funcional de soya y con albúmina de huevo deshidratada

TIPO DE GEL CÁRNICO	HUMEDAD (%)	PROTEÍNA (%)	GRASA (%)	CENIZAS (%)
Con concentrado funcional de soya	81,04 ± 0,87 ^a	12,28 ± 0,28 ^a	5,03 ± 0,19 ^a	1,65 ± 0,06 ^a
Con albúmina de huevo	84,28 ± 0,01 ^b	8,80 ± 0,29 ^b	5,33 ± 0,17 ^a	1,59 ± 0,16 ^a

*Medias con diferentes letras entre columnas son significativas para un nivel $\alpha=0.05$

**Valores son medias + SD (n=3)

Se puede observar en el Cuadro 23 que la formulación óptima con albúmina de huevo presentó mayor humedad que el gel patrón. En cuanto a la cantidad de proteína, se puede decir que, el gel de formulación óptima presenta un alto contenido proteico (8,80%) a pesar que sólo se adicionó 0,58 por ciento de albúmina de huevo. Mientras que, el gel patrón con la adición de 2 por ciento de concentrado funcional de soya presentó 12,28 por ciento de proteínas. Cabe recordar que la Clara Alto Gel utilizada tiene una concentración de proteínas de 87 por ciento en comparación del concentrado funcional de soya, cuyo contenido proteico fue de 66 por ciento. Con respecto al contenido de grasa y ceniza, no se encontraron diferencias significativas entre ambos geles.

Por otro lado, también se estudió el efecto de la incorporación de la albúmina de huevo en reemplazo de la carne, lo cual permitió adicionalmente mayor incorporación de agua (hielo).

En el Cuadro 24 se muestra los componentes y sus respectivos porcentajes correspondientes a la formulación del gel patrón elaborado con concentrado funcional de

soya y a la formulación óptima del gel elaborado con albúmina de huevo. Asimismo, en la Figura 17, se observa los niveles de carne y de agua de estas dos formulaciones, donde se puede apreciar que, adicionando 0,58 por ciento de albúmina de huevo al gel cárnico, se disminuye el porcentaje de la carne de porcino en un 29,74 por ciento y se incrementa el porcentaje de agua añadida (hielo) en un 19,40 por ciento.

Cuadro 24: Componentes y porcentajes de carne, agua y soya o albúmina en la formulación del gel cárnico de porcino

	FORMULACIÓN GEL PATRÓN	FORMULACIÓN ÓPTIMA GEL CON ALBÚMINA
Carne (%)	36,35	25,54
Agua (%)	59,55	73,88
Soya o Albúmina (%)	2,00	0,58

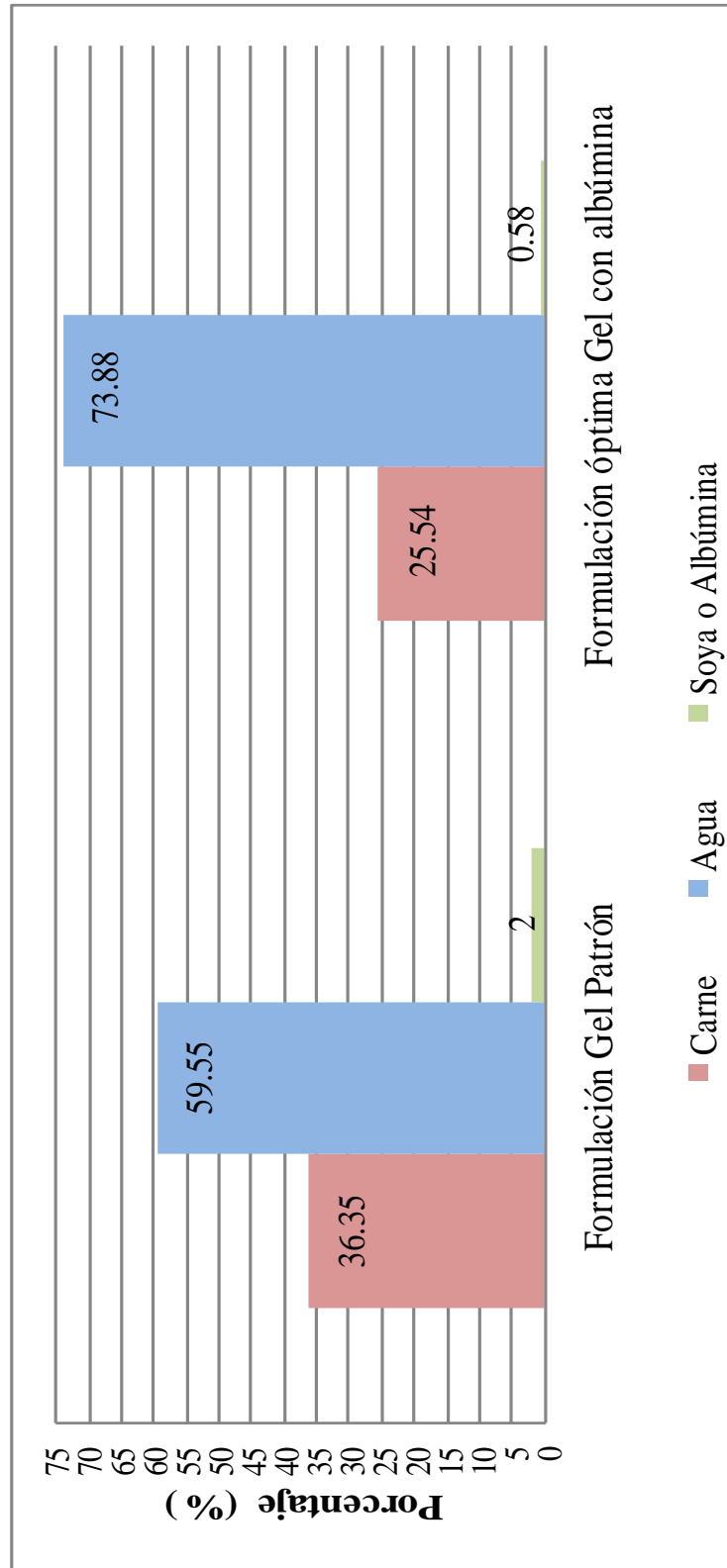


Figura 17: Comparación del porcentaje de carne y agua (hielo) de los geles elaborados con concentrado funcional de soya y albúmina de huevo deshidratado

Finalmente, se procedió a comparar las características fisicoquímicas (pérdida de agua por presión (%), dureza del gel y color) de los geles elaborados con concentrado funcional de soya y albúmina de huevo.

Cuadro 25: Comparación de las características fisicoquímicas y tecnológicas del gel cárnico elaborado con concentrado funcional de soya y con albúmina de huevo deshidratada

TIPO DE GEL CÁRNICO	PÉRDIDA DE AGUA POR PRESIÓN (%)	DUREZA DEL GEL	COLOR (a*)
Con concentrado funcional de soya	59.617 ± 0.63 ^a	11.23 ± 0.63 ^a	2.06 ± 0.15 ^a
Con albúmina de huevo	51.845 ± 1.10 ^b	13.22 ± 1.36 ^a	2.78 ± 0.08 ^b

*Medias con diferentes letras entre columnas son significativas para un nivel $\alpha=0.05$

**Valores son medias + SD (n=3)

Se puede observar en el Cuadro 25 que la formulación óptima con albúmina de huevo presentó menor pérdida de agua por presión (%) que el gel patrón. En cuanto a la dureza del gel (N), no existen diferencias significativas entre ambos geles; no obstante, cabe mencionar que, el gel con albúmina de huevo presenta mayor dureza. Con respecto al color (a*), se puede decir que la adición de 2 por ciento de concentrado funcional de soya influye directamente en la disminución del color rojo característico del gel.

V. CONCLUSIONES

- La adición de albúmina de huevo deshidratada tiene un efecto significativo sobre la pérdida por presión de agua del gel cárnico de porcino. A mayor cantidad de albúmina de huevo que se agregó al gel, menor fue la pérdida por presión de agua.
- La dureza del gel cárnico se incrementa hasta un punto máximo (13,41 N) conforme aumenta el porcentaje de albúmina de huevo deshidratada en la mezcla; luego, al agregar mayor cantidad de este componente la dureza del gel disminuye notablemente.
- La adición de albúmina de huevo deshidratada incrementa el valor a^* (tendencia al rojo) del análisis de color de CIELAB, hasta un valor de 4,60; después, el valor a^* tiende a disminuir conforme aumenta la cantidad de albúmina de huevo.
- La formulación óptima del gel cárnico de porcino con adición de albúmina de huevo deshidratada sobre la base de masa principal tiene una composición de 25,54 por ciento de carne de porcino, 73,88 por ciento de agua y 0,58 por ciento de albúmina de huevo deshidratada.
- La adición de 0,58 por ciento de albúmina de huevo permite reducir el porcentaje de carne en un 29,74 por ciento e incrementar el porcentaje de agua en un 19,40 por ciento respecto al gel cárnico con adición de 2 por ciento de concentrado de soya.

- El análisis proximal del gel cárnico de porcino con albúmina de huevo deshidratada con la formulación óptima presentó 84,28 por ciento de humedad, 8,80 por ciento de proteína, 5,33 por ciento de grasa y 1,59 por ciento de ceniza.
- El gel cárnico de porcino con albúmina de huevo deshidratada con la formulación óptima presentó 51.85 por ciento de pérdida de agua por presión, 13,22 N de dureza de gel y 2,78 de color (a*).
- El gel cárnico de porcino con albúmina de huevo deshidratada con la formulación óptima en comparación con gel patrón con concentrado de soya, presenta menor pérdida de agua por presión (%), mayor dureza y mayor coloración roja.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda evaluar el efecto de la inclusión de la albúmina de huevo deshidratada (Clara Alto Gel) en formulaciones de la industria cárnica y asimismo, complementarlo con un análisis microbiológico y sensorial.
- Se recomienda evaluar el efecto de la temperatura y tiempo de almacenamiento sobre las propiedades fisicoquímicas de los productos cárnicos elaborados con la adición de albúmina de huevo deshidratada.
- Se recomienda realizar estudios de vida en anaquel para determinar el tiempo de vida de los productos cárnicos elaborados con la adición de albúmina de huevo deshidratada.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AOAC. 2007. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists International. 16 ed. rev. Arlington, Estados Unidos.
- Aktas, N. 2005. Optimization of biopolimerization rate by response surface methodology (RSM). *Enzyme and Microbial Technology* 37:441-447.
- Álvarez, H; Salamanca, G. 2007. Valoración metodológica para el estudio de mezclas ternarias en sistemas alimentarios. *Alimentos Ciencia Ingeniería* 16:92-96.
- Badui, S. 2006. Química de los alimentos. México. 4 ed. Pearson Educación.
- Bourgeois, CM; Le Roux, P. 1982. Proteínas animales: extractos, concentrados y aislados en la alimentación humana. México, El Manual Moderno.
- Carballo, B; López De La Torre, G. 1991. Manual de bioquímica y tecnología de la carne. Madrid, España, Vicente Ediciones.
- Castro, F. 2008. Desarrollo y validación de metodologías analíticas para la determinación de proteínas de soja en productos cárnicos por cromatografía líquida de perfusión. Tesis Dr. España, Universidad de Alcalá.
- Cheftel, JC. 1989. Proteínas alimentarias: Bioquímica, propiedades funcionales, valor nutricional y modificaciones químicas. Zaragoza, España, Acribia.
- Chin, K; Go, M; Xiong, Y. 2009. Konjac flour improved textural and water retention properties of transglutaminase-mediated, heat-induced porcine myofibrillar protein gel: Effect of salt level and transglutaminase incubation. *Meat Science* 81:565-572.

- Cornell, JA. 2002. Experiments with Mixtures: Designs Models and the Analysis of Mixture Data. 3 ed. New York, Estados Unidos, John Willey & Sons.
- De Ketelaere, B; Goos, P; Brijs, K. 2011. Prespecified factor level combinations in the optimal design of mixture-process variable experiments. Food Quality and Preference 22:661-670.
- Dondero, M; Figueroa, V; Morales, X; Curotto, E. 2006. Transglutaminase effects on gelation capacity of thermally induced beef protein gels. Food Chemistry 99:546-554.
- Eakpetch, P; Benjakul, S; Visessanguan, W; Kijroongrojana, K. 2008. Effect of Protein Additives on Gelling Properties of Pacific White Shrimp (*Litopenaeus vannamei*) Meat. ASEAN Food Journal. 15(1):65-72.
- Elías, C. 2002. Aplicación del método de diseño de mezclas en la sustitución de carne por harina texturizada de soya, en cabanossi. Tesis Mg.Sc. Lima, Peru, Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Endres, JG. 2001. Soy protein products. Characteristics, nutritional aspects, and utilization. AOAC Press, Champaign. 10-14.
- Espinoza, J; García, T; Acosta, M. 2006. Evaluación de los factores que inciden en el comportamiento reológico de una suspensión de esmalte para baldosas. Ingeniería UC. 13(1):26-35.
- Fennema, O. 2000. Química de los alimentos. Zaragoza, España, Acribia.
- Fernández P; Barreto, G; Jimenez, F. 1995. Ingredientes no cárnicos empleados en el desarrollo de hamburguesas con reducido contenido en grasa. Alimentación: Equipos y Tecnología 2:127-131.

- Fernández, P; Cofrades, S; Solas, M. T; Carballo, J; Colmenero, FJ. 1998. High pressure cooking of chicken meat batters with starch, egg white, and iota carrageenan. *Journal of Food Science* 63:267-271.
- Foegeding, EA. 1988. Gelation in Meat batters. Annual Reciprocal Meat Conference of the American Meat Science Association 41:44-47.
- Foegeding, EA; Lanier, TC. 1989. The contribution of nonmuscle proteins to texture of gelled muscle protein foods. *In* R. D. Phillips, & J. W. Finley (Eds.), Protein quality and the effects of processing (p. 331–343). New York, Marcel Dekker.
- Franco, C. 2007. Evaluación de proteína de albúmina de huevo (clara alto gel) como sustituto parcial de la proteína cárnica en la elaboración de salchichas de consumo masivo. Proyecto previo a la obtención de ingeniero agroindustrial. Quito, Ecuador, Escuela Politécnica Nacional.
- Fuentes, E; Pérez, JA; Sánchez, E. 2009. Efecto de la concentración de aditivos e ingredientes sobre el color de pastas de merluza (*Merluccius australis*) tratadas térmicamente. *Óptica Pura y Aplicada* 42:9-21.
- González, D. 2004. Experimentos Industriales: Experimentos con Mezclas. Universidad de Puerto Rico Mayagüez. Puerto Rico.
- Gunenc, A. 2007. Evaluation of pork meat quality by using water holding capacity and vis-spectroscopy. Montreal, Canada, McGill University.
- INDECOPI. 2005. NTP-ISO 2917: 1998. Carne y Productos Cárnicos. Medición de pH. Método de referencia. Lima, Perú.
- Instituto de Estudios del Huevo. 2006. Seguridad Alimentaria en huevos y ovoproductos. 2 ed. Madrid, España.

- Izaguirre, C. 2008. Incorporación de carne de caracol (*Helix aspersa Müller*), en la elaboración de *nuggets* utilizando la aplicación del método de diseño de mezclas. Tesis Ing. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Jarmoluk, A; Pietrasik, Z. 2003. Response surface methodology study on the effects of blood plasma, microbial transglutaminase and j-carrageenan on pork batter gel properties. *Journal Food Engineering* 60:327-334.
- Lawrie, RA. 1998. *Ciencia de la Carne*. Tercera edición. Zaragoza, España, Acribia.
- Lin, K; Mei, M. 2000. Influences of gums, soy protein isolate, and heating temperatures on reduced-fat meat batters in a model system. *Journal of food Science: Food Chemistry and toxicology* 65(1):48-52.
- Liu, R; Zhao, S; Xie, B; Xiong, S. 2011. Contribution of protein conformation and intermolecular bonds to fish and pork gelation properties. *Food Hydrocolloids* 25:898-906.
- Madrid, A. 1999. *Aprovechamiento de los subproductos cárnicos*. Madrid, España, AMV Ediciones.
- Minitab. 1998. *Minitab User's Guide 2. Data Analysis and Quality tools*, Release 12 for Windows, Windows 95 and Windows NT. Minitab Inc. Pennsylvania, USA.
- Minolta. 2003. *Comunicación precisa de los colores*. KONICA MINOLTA SENSING, INC.
- Montgomery, DC. 2002. *Diseño de análisis de experimentos*. 2 ed. México, Limusa Wiley.
- Ngarize, S; Adams, A; Howell, N. 2005. A comparative study of heat and high pressure induced gels of whey and egg albumen proteins and their binary mixtures. *Food Hydrocolloids* 19:984-996.

- Onega, ME. 2003. Evaluación de la calidad de carnes frescas: Aplicación de técnicas analíticas, instrumentales y sensoriales. Tesis Dr. Madrid, España, Universidad Complutense de Madrid.
- Paredes, D. 2002. Caracterización de la carne de jabalí (*Sus scrofa*) procedente de animales criados en Chile. Tesis Ing. Valdivia, Chile, Universidad Austral de Chile.
- Pietrasik, Z. 2003. Binding and textural properties of beef gels processed with k-carrageenan, egg albumin and microbial transglutaminase. *Meat Science* 63:317-324.
- Pietrasik, Z; Jarmoluk, A; Shand, PJ. 2005. Textural and hydration properties of pork meat gels processed with non-muscle proteins and carrageenan. *Polish Journal of food and nutrition sciences* 14/55(2):145-150.
- Pietrasik, Z; Jarmoluk, A; Shand, PJ. 2007. Effect of non-meat proteins on hydration and textural properties of pork meat gels enhanced with microbial transglutaminase. *LWT* 40:915-920.
- Fischer, A. 1994. Tecnología de elaboración y producción de productos cárnicos. En: *Tecnología e higiene de la carne*. Zaragoza, España, Acribia.
- Rasch, D; Pilz, J; Verdooren, R; Gebhardt, A. 2011. *Optimal Experimental Design with R*. Taylor & Francis Group. New York, Estados Unidos.
- Rocha, AE. 2009. Proteínas no cárnicas para mejorar textura y retención de humedad. *Tecnologías de procesamiento*. Carnetec.
- Salamanca, G; Osorio, M; Montoya, L. 2010. Elaboración de una bebida funcional de alto valor biológico a base de borojo (*Borojoa patinoi Cuatrec*). *Revista chilena de Nutrición*. 37(1).

- Saltos, H; Bayas, A. 2010. Aplicación de un Diseño Experimental de Mezclas en el Desarrollo de una “Barra Energética” con base en el Salvado de Palmito de Pejibaye (*Bactris gasipaes H.B.K*). Revista Tecnológica ESPOL- RTE. 23(2):1-8.
- Salvá, B. 2000. Utilización de proteína de soya y carragenina en salchichas tipo huacho con bajo tenor graso. Tesis Mg. Sc. Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
- Salvá, B. 2009. Caracterización de la carne y charqui de alpaca (*Vicugna pacos*). Tesis Dr. León, España, Universidad de León.
- Sipos, E. 1995. Proteínas de soya en sistemas cárnicos. Asociación Americana de Soya. México.
- Tay, JC. 2010. Determinación del efecto de la inclusión de mono y diglicéridos en la estabilidad, adhesividad y costos de elaboración de paté de hígado de pollo aplicando el método de diseño de mezclas. Tesis Ing. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Totosaus, A. 2001. Estudio de la adición de polisacáridos en la gelificación de proteínas animales. Tesis Dr. México, Universidad Autónoma Metropolitana.
- Trespalacios, M. 2007. Gelificación de productos avícolas por alta presión isostática: actividad sinérgica de la transglutaminasa microbiana. Universidad autónoma de Barcelona. Bellaterra, España.
- Young, S. 1989. Productos proteicos de soya en alimentos cárnicos y lácteos procesados. Asociación Americana de Soya. México.
- Zorba, O; Kurt, S. 2006. Optimization of emulsion characteristics of beef, chicken and turkey meat mixtures in model system using mixture design. Meat Science 73:611-618.

Zorogastúa, J. 2004. Aplicación del diseño de mezclas en la elaboración de Chorizo Ahumado utilizando carne de alpaca (*Lama pacos*) y carne de cordero (*Ovis aries*). Tesis Ing. Lima, Perú, Universidad Nacional Agraria La Molina.

ANEXOS

ANEXO 1: RESULTADOS DE *COOKING LOSS* Y RENDIMIENTO DE LAS FORMULACIONES EXPERIMENTALES DEL GEL CÁRNICO

Formulación	Peso inicial (g) (pasta)	Peso Final (g) (gel)	Agua perdida (g)	<i>Cooking loss</i> (%)	Rendimiento (%)	Rendimiento (%) Promedio	<i>Cooking loss</i> (%) Promedio
1	65,84	59,59	6,25	9,49	90,51	89,08	10,92
	66,41	58,73	7,68	11,56	88,44		
	74,37	65,67	8,70	11,70	88,30		
2	80,39	73,80	6,59	8,20	91,80	92,17	7,83
	76,30	71,25	5,05	6,62	93,38		
	76,52	69,88	6,65	8,69	91,31		
3	77,73	72,69	5,04	6,48	93,52	94,48	5,52
	68,23	64,72	3,51	5,14	94,86		
	65,71	62,46	3,25	4,94	95,06		
4	66,27	62,84	3,43	5,18	94,82	93,16	6,84
	70,42	64,02	6,40	9,09	90,91		
	70,15	65,76	4,39	6,26	93,74		
5	68,48	61,58	6,90	10,07	89,93	88,62	11,38
	70,40	62,69	7,72	10,96	89,04		
	72,38	62,89	9,48	13,10	86,90		
6	59,56	55,50	4,06	6,82	93,18	92,28	7,72
	71,83	65,18	6,65	9,26	90,74		
	72,58	67,43	5,15	7,09	92,91		
7	76,17	67,80	8,38	11,00	89,00	92,40	7,60
	70,23	66,21	4,02	5,73	94,27		
	67,38	63,29	4,10	6,08	93,92		
8	76,37	69,90	6,47	8,47	91,53	92,15	7,85
	67,21	62,49	4,72	7,02	92,98		
	66,60	61,23	5,38	8,07	91,93		
9	79,35	73,59	5,75	7,25	92,75	92,87	7,13
	71,74	67,15	4,59	6,40	93,60		
	74,14	68,40	5,74	7,75	92,25		

« Continuación »

10	74,61	69,52	5,09	6,82	93,18	94,48	5,52
	70,53	67,26	3,27	4,64	95,36		
	69,79	66,23	3,56	5,11	94,89		
11	75,81	70,98	4,83	6,37	93,63	93,59	6,41
	71,11	66,32	4,78	6,73	93,27		
	72,18	67,74	4,43	6,14	93,86		
12	62,16	55,57	6,59	10,60	89,40	87,72	12,28
	73,88	65,42	8,46	11,45	88,55		
	73,58	62,68	10,90	14,81	85,19		
13	76,33	67,92	8,42	11,03	88,97	87,55	12,45
	74,54	64,15	10,39	13,94	86,06		
	72,21	63,26	8,94	12,39	87,61		
14	73,99	69,11	4,88	6,60	93,40	93,47	6,53
	73,81	68,45	5,36	7,26	92,74		
	73,39	69,17	4,22	5,75	94,25		
15	75,51	71,46	4,04	5,36	94,64	94,70	5,30
	70,94	67,68	3,25	4,59	95,41		
	70,85	66,62	4,23	5,97	94,03		
16	70,91	67,27	3,64	5,14	94,86	94,81	5,19
	69,74	66,60	3,14	4,50	95,50		
	73,06	68,73	4,33	5,93	94,07		

ANEXO 2: RESULTADOS DE LA PÉRDIDA DE AGUA POR PRESIÓN DE LAS FORMULACIONES EXPERIMENTALES DEL GEL CÁRNICO

Formulación	Peso inicial papel filtro (g)	Peso final papel filtro (g)	Agua Liberada (g)	Peso muestra (g)	Pérdida de agua por presión (%)	Pérdida de agua por presión(%) promedio
1	0,92	1,07	0,14	0,33	44,30	43,79
	0,91	1,06	0,15	0,34	44,91	
	0,94	1,07	0,13	0,30	42,15	
2	0,95	1,09	0,14	0,31	44,33	45,72
	0,96	1,10	0,14	0,30	46,37	
	0,97	1,11	0,14	0,30	46,46	
3	0,93	1,12	0,19	0,33	57,17	55,93
	0,93	1,08	0,16	0,30	52,14	
	0,91	1,10	0,19	0,32	58,48	
4	0,97	1,12	0,15	0,30	49,14	54,26
	0,88	1,05	0,17	0,30	56,47	
	0,94	1,13	0,18	0,32	57,17	
5	0,86	0,99	0,13	0,31	43,15	46,86
	0,92	1,08	0,16	0,32	50,61	
	0,99	1,14	0,14	0,31	46,82	
6	0,93	1,10	0,17	0,33	50,89	52,04
	0,91	1,08	0,17	0,31	53,23	
	0,93	1,09	0,16	0,31	51,99	
7	0,86	1,04	0,18	0,30	59,34	54,28
	0,88	1,06	0,18	0,33	53,61	
	0,87	1,03	0,16	0,32	49,89	
8	0,85	1,04	0,19	0,33	56,76	53,98
	0,83	1,00	0,17	0,33	49,97	
	0,93	1,10	0,17	0,31	55,22	
9	0,92	1,10	0,18	0,33	54,29	54,91
	0,91	1,10	0,18	0,34	55,06	
	0,90	1,07	0,17	0,30	55,37	
10	0,91	1,06	0,15	0,31	50,02	50,92
	0,92	1,09	0,17	0,32	52,76	
	0,86	1,01	0,15	0,30	49,98	
11	0,93	1,07	0,14	0,33	43,71	45,07
	0,87	1,02	0,14	0,31	46,12	
	0,89	1,03	0,14	0,31	45,38	
12	0,85	1,05	0,20	0,33	61,57	57,64
	0,95	1,13	0,18	0,31	58,74	
	0,96	1,12	0,16	0,31	52,61	
13	0,95	1,10	0,15	0,31	47,52	46,03
	0,94	1,09	0,15	0,33	44,86	
	0,95	1,10	0,15	0,33	45,71	

« Continuación »

14	0,91	1,08	0,17	0,32	54,09	55,48
	0,90	1,08	0,17	0,31	55,70	
	0,94	1,13	0,19	0,33	56,65	
15	0,85	1,00	0,15	0,31	49,08	50,98
	0,87	1,04	0,17	0,30	55,01	
	0,89	1,04	0,15	0,31	48,86	
16	0,88	1,04	0,16	0,31	52,29	48,52
	0,88	1,02	0,15	0,30	48,16	
	0,93	1,08	0,14	0,32	45,10	

ANEXO 3: RESULTADOS DE LA DUREZA DE LAS FORMULACIONES EXPERIMENTALES DEL GEL CÁRNICO

Formulación	Dureza (N)
1	5,35
	5,28
	5,32
promedio	5,31
2	5,94
	6,15
	5,69
promedio	5,93
	0,23
3	11,24
	11,47
	11,39
promedio	11,36
4	8,54
	8,57
	7,91
promedio	8,34
5	10,30
	11,44
	10,32
promedio	10,69
6	12,71
	12,03
	12,34
promedio	12,36
7	8,15
	8,21
	8,67
promedio	8,34
8	11,94
	12,69
	13,14
promedio	12,59
9	13,14
	13,81
	13,27
promedio	13,41

« Continuación »

10	7,32
	7,76
	7,29
promedio	7,46
11	5,35
	5,28
	5,69
promedio	5,44
12	7,81
	8,21
	8,15
promedio	8,06
13	11,02
	10,12
	9,99
promedio	10,38
14	12,69
	13,07
	12,84
promedio	12,87
15	6,18
	6,84
	6,97
promedio	6,66
16	8,07
	7,65
	8,48
promedio	8,07

ANEXO 4: RESULTADOS DEL COLOR DE LAS FORMULACIONES EXPERIMENTALES DEL GEL CÁRNICO

Formulación	L*	a*	b*
1	72,76	1,13	6,14
	71,82	1,19	6,49
	72,05	1,25	6,12
Promedio	72,21	1,19	6,25
2	68,81	2,23	6,23
	67,86	2,12	5,98
	68,81	2,13	6,05
Promedio	68,49	2,16	6,09
3	67,10	2,56	6,40
	65,58	2,76	6,35
	65,68	2,88	6,08
promedio	66,12	2,73	6,28
4	69,11	2,95	7,44
	69,17	3,18	6,75
	68,74	3,05	8,20
promedio	69,01	3,06	7,46
5	68,12	3,72	6,92
	67,80	3,57	7,07
	67,98	3,82	6,66
promedio	67,97	3,70	6,88
6	65,97	4,09	5,01
	68,62	3,65	5,09
	67,77	3,81	5,07
promedio	67,45	3,85	5,06
7	67,68	3,23	6,04
	67,63	3,15	6,43
	67,61	3,07	6,20
promedio	67,64	3,15	6,22
8	68,94	4,75	5,73
	67,74	4,67	6,11
	69,67	4,38	6,61
promedio	68,78	4,60	6,15
9	66,76	3,90	5,77
	66,55	3,83	5,89
	67,51	4,08	6,15
Promedio	66,94	3,94	5,94
10	71,21	3,28	5,83
	71,32	3,25	5,89
	70,80	3,56	5,98
promedio	71,11	3,36	5,90
11	68,83	2,54	6,44
	70,68	2,66	6,37
	69,49	2,84	6,11
promedio	69,67	2,68	6,31

« Continuación »

12	66,59	2,83	4,81
	66,87	3,09	5,67
	66,57	2,90	4,64
promedio	66,68	2,94	5,04
13	66,86	3,52	6,39
	67,54	3,43	6,27
	66,51	3,78	6,16
promedio	66,97	3,58	6,27
14	69,33	3,75	6,66
	69,83	3,87	7,20
	68,16	4,12	7,29
promedio	69,11	3,91	7,05
15	67,71	2,53	6,21
	67,52	2,64	6,39
	66,86	2,47	6,03
promedio	67,36	2,55	6,21
16	65,49	3,28	6,55
	66,39	3,08	6,46
	67,16	3,36	6,38
promedio	66,35	3,24	6,46

ANEXO 5: INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE 2 POR CIENTO DE CONCENTRADO FUNCIONAL DE SOYA Y 0,58 POR CIENTO SOBRE LA COMPOSICIÓN PROXIMAL DEL GEL CÁRNICO

Factor: Humedad (%)

Tratamiento	Contenido de Humedad (%)			Sumatoria
T1: Albúmina de huevo	84,21	83,67	84,96	252,84
T2: Concentrado Funcional de soya	80,94	80,22	81,95	243,11
				495,95

Análisis de variancia

Fuentes	S.C	G.L.	C.M	Fc	Ftab
Tratamiento	15,78	1,00	15,78	26,86	7,71
Error	2,35	4,00	0,59		
Total	18,13	5,00			

Variable dependiente: Humedad (%)

$\alpha = 0,05$

$F_c > F_{tab} \rightarrow$ Existen diferencias significativas entre los tratamientos

ANEXO 6: INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE 2 POR CIENTO DE CONCENTRADO FUNCIONAL DE SOYA Y 0,58 POR CIENTO SOBRE LA COMPOSICIÓN PROXIMAL DEL GEL CÁRNICO

Factor: Proteínas (%)

Tratamiento	Contenido de Proteína (%)			Sumatoria
T1: Albúmina de huevo	9,12	8,75	8,54	26,41
T2: Concentrado Funcional de soya	11,58	12,92	12,35	36,85
				63,26

Análisis de variancia

Fuentes	S.C	G.L.	C.M	Fc	Ftab
Tratamiento	18,17	1	18,17	223,6	7,71
Error	0,32	4	0,08		
Total	18,49	5			

Variable dependiente: Proteínas (%)

$\alpha = 0,05$

$F_c > F_{tab} \rightarrow$ Existen diferencias significativas entre los tratamientos

ANEXO 7: INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE 2 POR CIENTO DE CONCENTRADO FUNCIONAL DE SOYA Y 0,58 POR CIENTO SOBRE LA COMPOSICIÓN PROXIMAL DEL GEL CÁRNICO

Factor: Grasa (%)

Tratamiento	Contenido de Grasa (%)			Sumatoria
T1: Albúmina de huevo	5,48	5,15	5,35	15,98
T2: Concentrado Funcional de soya	4,98	5,24	4,86	15,08
				31,06

Análisis de variancia

Fuentes	S.C	G.L.	C.M	Fc	Ftab
Tratamiento	0,14	1	0,14	4,13	7,71
Error	0,13	4	0,03		
Total	0,27	5			

Variable dependiente: Grasa (%)

$\alpha = 0,05$

$F_c < F_{tab} \rightarrow$ No existen diferencias significativas entre los tratamientos

ANEXO 8: INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE 2 POR CIENTO DE CONCENTRADO FUNCIONAL DE SOYA Y 0,58 POR CIENTO SOBRE LA COMPOSICIÓN PROXIMAL DEL GEL CÁRNICO

Factor: Cenizas (%)

Tratamiento	Contenido de Cenizas (%)			Sumatoria
T1: Albúmina de huevo	1,61	1,59	1,58	4,78
T2: Concentrado Funcional de soya	1,72	1,59	1,64	4,95
				9,73

Análisis de variancia

Fuentes	S.C	G.L.	C.M	Fc	Ftab
Tratamiento	0,01	1,00	0,01	2,42	7,71
Error	0,01	4,00	0,002		
Total	0,01	5,00			

Variable dependiente: Cenizas (%)

$\alpha = 0,05$

$F_c < F_{tab} \rightarrow$ No existen diferencias significativas entre los tratamientos

ANEXO 9: INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE 2 POR CIENTO DE CONCENTRADO FUNCIONAL DE SOYA Y 0,58 POR CIENTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL GEL CÁRNICO

Factor: Pérdida de agua por presión (%)

Tratamiento	Pérdida de agua por presión (%)			Sumatoria
T1=Albúmina de huevo	51,33	53,11	51,10	155,54
T2:Concentrado Funcional de soya	59,08	60,31	59,46	178,85
				334,39

Análisis de variancia

Fuentes	S.C	G.L	C.M	Fc	Ftab
Tratamiento	90,60	1,00	90,60	113,05	7,71
Error	3,21	4,00	0,80		
Total	93,81	5,00			

Variable dependiente: Pérdida de agua por presión (%)

$\alpha = 0,05$

$F_c > F_{tab} \rightarrow$ Existen diferencias significativas entre los tratamientos

ANEXO 10: INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE 2 POR CIENTO DE CONCENTRADO FUNCIONAL DE SOYA Y 0,58 POR CIENTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL GEL CÁRNICO

Factor: Dureza

Tratamiento	Dureza (N)			Sumatoria
T1: Albúmina de huevo	11,89	13,17	14,62	39,67
T2: Concentrado Funcional de soya	10,55	11,78	11,35	33,68
				73,35

Análisis de variancia

Fuentes	S.C	G.L.	C.M	Fc	Ftab
Tratamiento	5,99	1,00	5,99	5,31	7,71
Error	4,51	4,00	1,13		
Total	10,50	5,00			

Variable dependiente: Dureza (N)

$\alpha = 0,05$

$F_c < F_{tab} \rightarrow$ No existen diferencias significativas entre los tratamientos

ANEXO 11: INFLUENCIA DE LA ADICIÓN DE 2 POR CIENTO DE CONCENTRADO FUNCIONAL DE SOYA Y 0,58 POR CIENTO SOBRE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL GEL CÁRNICO

Factor: Color (a*)

Tratamiento	Color (a*)			Sumatoria
T1: Albúmina de huevo	2,82	2,84	2,69	8,35
T2: Concentrado Funcional de soya	1,93	2,22	2,03	6,18
				14,53

Análisis de variancia

Fuentes	S.C	G.L.	C.M	Fc	Ftab
Tratamiento	0,78	1,00	0,78	55,40	7,71
Error	0,06	4,00	0,01		
Total	0,84	5,00			

Variable dependiente: Color (a*)

$\alpha = 0,05$

$F_c > F_{tab} \rightarrow$ Existen diferencias significativas entre los tratamientos