

**Optimización de Emulsiones Cárnicas a
Partir de Tres Coproductos Cárnicos de
Cerdo Usando Metodología de Superficie de
Respuesta**

Paola Cristina Mendieta Pullas

Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano
Honduras
Octubre, 2014

ZAMORANO
CARRERA DE AGROINDUSTRIA ALIMENTARIA

Optimización de Emulsiones Cárnicas a Partir de Tres Coproductos Cárnicos de Cerdo Usando Metodología de Superficie de Respuesta

Proyecto especial de graduación presentado como requisito parcial para optar al título de Ingeniera en Agroindustria Alimentaria en el Grado Académico de Licenciatura

Presentado por

Paola Cristina Mendieta Pullas

Zamorano, Honduras

Octubre, 2014

Optimización de Emulsiones Cárnicas a Partir de Tres Coproductos Cárnicos de Cerdo Usando Metodología de Superficie de Respuesta

Presentado por:

Paola Cristina Mendieta Pullas

Aprobado:

Adela Acosta, Dra. C.T.A
Asesora Principal

Luis Fernando Osorio, Ph.D.
Director
Departamento de Agroindustria
Alimentaria

Juan Antonio Ruano, D.Sc.
Asesor

Raúl H. Zelaya, Ph.D.
Decano Académico

Optimización de Emulsiones Cárnicas a Partir de Tres Coproductos Cárnicos de Cerdo Usando Metodología de Superficie de Respuesta

Paola Cristina Mendieta Pullas

Resumen. La importancia de las emulsiones cárnicas en la industria cárnica está dada por su alto volumen de ventas. Estos productos son considerados sistemas compuestos del tipo grasa suspendido en agua y poseen un comportamiento pseudoplástico, lo cual los hace susceptibles a rotura. Los coproductos de origen animal son subutilizados en la industria sin embargo, representan una fuente de proteína económica y de alta calidad, idónea para formular emulsiones. Así mismo, el reemplazo de fuentes de grasa saturada por aceites vegetales monoinsaturados tiene amplia cabida para la formulación de productos cárnicos. La Metodología de Superficie de Respuesta (MSR) se puede utilizar para optimizar las características esperadas en un producto cárnico modificando los porcentajes de materias primas. El objetivo principal de este estudio fue identificar el efecto de las variables de materia prima, relación riñón - corazón, hígado y hielo sobre la viscosidad, estabilidad y color de las emulsiones cárnicas. Se planteó un Diseño de Composición Central Rotacional (DCCR) 2^k descrito por las variables independientes relación riñón - corazón (%), hígado (%) y hielo (%) con tres niveles (-1, 0, +1) y 2 axiales ($-\alpha$ y $+\alpha$), obteniendo 8 factoriales, 6 axiales y 6 puntos centrales. La caracterización fue medida como viscosidad (Pa.s), índice de estabilidad y color (L a b). Se determinó que la viscosidad aumenta cuando la proporción de corazón aumenta en la relación riñón:corazón, por su parte la estabilidad alcanza valores óptimos cuando interactúan las variables hígado y relación riñón: corazón cerca del punto central. Los valores L y a solo tuvieron efectos lineales, demostrando que su respuesta depende de la proporción de hígado y relación riñón - corazón, respectivamente. Se recomienda evaluar las propiedades de la adición de la emulsión optimizada como materia prima incorporada en productos cárnicos.

Palabras clave: Aceite de girasol, color, estabilidad, punto óptimo, vísceras, viscosidad.

Summary. The importance of meat emulsions in the meat industry is given by its high sales. These products are considered fat systems type compounds suspended in water and possess a pseudoplastic behavior, which makes them susceptible to breakage. Co-products of animal origin are underutilized in the industry, but they represent a source of economic and high quality protein, suitable for formulating emulsions. Also replacing sources of saturated fat with monounsaturated vegetable oils has ample room for the formulation of meat products. The Response Surface Methodology (RSM) can be used to optimize the features expected in a meat product by changing the percentages of materials. One objective of this study was to identify the effect of raw material variables, ratio kidney: heart, liver and ice on the viscosity, stability and color of meat emulsions. Composition Design of Central rotational (DCCR) 2^k described by the independent variables related kidney was raised: heart (%), liver (%) and ice (%) with three levels (-1, 0, +1) and 2 axial ($-\alpha$ and $+\alpha$), obtaining eight factorial, 6 axial points and 6 central. The characterization was measured as viscosity (Pa.s) and color stability index (L a b). It was determined that the viscosity increases when the heart rate increases in the relationship kidney: heart,

meanwhile reaches optimum values stability when variables interact liver and relationship kidney: heart near the center point. The L values were and only linear effects, demonstrating that the response depends on the relative proportion of liver and kidney: heart, respectively. It is recommended to evaluate the properties of the emulsion adding optimized feedstock incorporated into meat products.

Keywords: Color, optimum, stability, sunflower oil, viscera, viscosity.

CONTENIDO

Portadilla	i
Página de firmas	ii
Resumen	iii
Contenido	v
Índice de cuadros, figuras y anexos.....	vi
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	11
4. CONCLUSIONES.....	39
5. RECOMENDACIONES.....	40
6. LITERATURA CITADA.....	41
7. ANEXOS	45

ÍNDICE DE CUADROS, FIGURAS Y ANEXOS

Cuadro	Página
1. Descripción del diseño experimental.....	4
2. Niveles de las variables independientes para la formulación de emulsiones cárnicas.	5
3. Delineamiento del diseño experimental completo.....	6
4. Formulaciones de los tratamientos.	7
5. Medias y desviación estándar (DE) de análisis proximal y pH de los coproductos utilizados para la formulación de emulsiones cárnicas.	12
6. Media y desviación estándar (DE) del efecto de las variables independientes sobre la Viscosidad (Pa.s) (Y1) de emulsiones cárnicas a partir de coproductos. ...	14
7. Análisis de varianza, coeficientes de regresión y R^2 para Viscosidad de emulsión (Pa.s) en función de % relación riñón: corazón (X_1), % hígado (X_2) y % hielo (X_3) en las formulaciones.	15
8. Media y desviación estándar (DE) del efecto de las variables independientes sobre el Índice de estabilidad (Y2) de emulsiones cárnicas.	20
9. Análisis de varianza, coeficientes de regresión y R^2 para índice de estabilidad en función de % relación riñón:corazón (X_1), % hígado (X_2) y % hielo (X_3) en las formulaciones.	21
10. Media y desviación estándar (DE) del efecto de las variables independientes en el análisis de color expresado en valor L en emulsiones cárnicas.....	25
11. Análisis de varianza, coeficientes de regresión y R^2 para valor L, en función de % relación riñón: corazón (X_1), % hígado (X_2) y % hielo (X_3) en las formulaciones	26
12. Media y desviación estándar (DE) del efecto de las variables independientes en el análisis de color expresado en valor a (Y4) en emulsiones cárnicas.....	28
13. Análisis de varianza, coeficientes de regresión y R^2 para índice de color con el valor a en función de % relación riñón: corazón (X_1), % hígado (X_2) y % hielo (X_3) en las formulaciones.	29
14. Media y desviación estándar (DE) del efecto de las variables independientes en el análisis de color expresado en valor b (Y5) en emulsiones cárnicas.....	32
15. Análisis de varianza, coeficientes de regresión y R^2 para índice de color con el valor b, en función de % relación riñón:corazón (X_1), % hígado (X_2) y % hielo (X_3) en las formulaciones.	33

Figura	Página
16. Flujo de proceso para elaboración de emulsiones por tratamientos.	9
17. Efecto de dos variables independientes cuantitativas % relación riñón: corazón y % hígado en la Viscosidad (Pa.s) de emulsiones cárnicas a partir de coproductos.....	16
18. Efecto de dos variables independientes cuantitativas % relación riñón: corazón y % hielo en la Viscosidad (Pa.s) de emulsiones cárnicas a partir de coproductos.....	17
19. Efecto de dos variables independientes cuantitativas % hígado y % hielo, en la Viscosidad (Pa.s) de emulsiones cárnicas a partir de coproductos.....	18
20. Efecto de dos variables cuantitativas % relación riñón: corazón y % hígado en el índice de estabilidad de emulsiones cárnicas a partir de coproductos.....	22
21. Efecto de dos variables independientes cuantitativas % relación riñón: corazón y % hielo en el índice de estabilidad de emulsiones cárnicas a partir de coproductos.....	23
22. Efecto de dos variables independientes cuantitativas % hígado y % hielo, en el índice de estabilidad de emulsiones cárnicas a partir de coproductos.....	24
23. Efecto de dos variables cuantitativas % relación riñón: corazón y % hígado en valor L de emulsiones cárnicas a partir de coproductos.....	27
24. Efecto de dos variables cuantitativas % relación riñón: corazón y % hígado en valor a de emulsiones cárnicas a partir de coproductos.....	30
25. Efecto de dos variables cuantitativas % relación riñón: corazón e hígado en valor b de emulsiones cárnicas a partir de coproductos.....	34
26. Efecto de las variables cuantitativas % relación riñón: corazón y % hielo en el valor b de emulsiones cárnicas a partir de coproductos.	35
27. Efecto de las variables cuantitativas % hígado y % hielo en el valor b de emulsiones cárnicas a partir de coproductos.	36
28. Función de utilidad para optimización de emulsiones cárnicas.	38

Anexo	Página
1. Valores F calculado $P < 0.05$ para variables índice de estabilidad, viscosidad (Pa.s), Color (L a b).	45
2. Tabla de puntos de porcentaje de la distribución F ($P < 0.05$)	46

1. INTRODUCCIÓN

Una emulsión cárnica es considerada como un sistema compuesto de dos fases, ya que una fase está finamente distribuida en otra fase denominada continua (UAM 2013). El componente fundamental es la activación de las proteínas presentes en el músculo producto de la ruptura del sarcolema por lo que se liberan miosina y actina, que posteriormente serán solubilizadas por sales y fosfatos (Hui et al. 2012).

Las emulsiones cárnicas se dan por dos efectos, atrapamiento físico y emulsificación en los cuales las partículas de grasa son dispersadas y cubiertas por proteína solubilizada (Marchetti 2014). Son caracterizadas como materiales que se adelgazan con el esfuerzo cortante, denominados pseudoplásticos y su comportamiento es expresado usualmente como la ley de potencia o modelo de Ostwald-de Waele (Lissant 1984).

Durante años se ha identificado que uno de los principales desafíos en la elaboración de emulsiones cárnicas es la obtención de productos que mantengan su estabilidad no sufriendo excesivas pérdidas de grasa y agua durante la fase de cocinado y almacenamiento (Álvarez *et al.* 2007). Así también la oxidación lipídica es otro proceso que se puede ver reflejado en el deterioro por oxidación de la emulsión (Andreo *et al.* s.f.).

Dos de los parámetros evaluados en este estudio fueron viscosidad y estabilidad de emulsión, evaluando la influencia de los coproductos (Karakaya *et al.* 1997). Estos parámetros junto con la capacidad de emulsión son los más estudiados, ya que dan información acerca de la habilidad de las proteínas de formar emulsiones estables (Magdassi y Toledano 1996).

La viscosidad es considerada como la medida de la resistencia de flujo, en esta propiedad el tamaño de la partícula es una característica importante ya que determina principalmente la apariencia de la emulsión y al mismo tiempo tiene efecto sobre la estabilidad de la misma (Friberg y Larson 1997). Así la inestabilidad es un proceso que comprende diferentes mecanismos contribuyendo a la transformación de una emulsión uniformemente dispersada en un sistema separado en fases (Friberg y Larson 1997).

Hay varios mecanismos que originan la inestabilidad de las emulsiones como la agregación, floculación y coalescencia. Sin embargo, las emulsiones cárnicas contienen proteínas miofibrilares que son agentes emulgentes para estabilizar las dos fases inmiscibles, sin la presencia de las mismas las dos fases se separarían inmediatamente (Lissant 1984).

Estos agentes emulgentes se encuentran en menor o mayor proporción dependiendo del corte o músculo que sea procesado. Ingredientes como aceites vegetales pueden ser

usados como sustitutos funcionales de grasa en derivados cárnicos, en especial en emulsiones cárnicas tipo frankfurt, obteniendo productos con un mejor perfil de ácidos grasos y un nivel de colesterol más adecuado que los tradicionales (Ospina *et al.* 2011). Varios estudios han identificando la aplicabilidad de la adición de aceites en la emulsión (Ambrosiadis *et al.* 1996, Moon *et al.* 2012, Pérez *et al.* 2010, Jaramillo 2009).

Por otro lado los coproductos de origen animal también conocidos como vísceras son de uso limitado en las industrias cárnicas, en donde el factor cultural es determinante para el bajo consumo de vísceras (Ockerman y Hansen 2000; Benítez *et al.* 2003) a eso se suma que vísceras como el hígado presentan sabores muy fuertes para los consumidores siendo una de las limitantes de su consumo (Oliva y Ostria 2013).

Ya que son una económica y excelente fuente de proteína animal, se hacen atractivos para la formulación de productos cárnicos (Benítez *et al.* 2000; Ockerman y Hansen 2000) sin dejar de lado el factor nutricional en el cual también se ve beneficiados por la presencia de nutrientes esenciales como el hierro (Jokanovic *et al.* 2014).

Los coproductos representan en conjunto entre un 5 a 6% del peso vivo (Fischer *et al.* 1974), en Zamorano el procesamiento de cerdos es destinado a la obtención de cortes de carne y el procesamiento en embutidos, siendo aprovechados los coproductos principalmente para la elaboración de morcillas y chorizos (hígado y corazón).

La metodología de superficie de respuesta es básicamente un proceso secuencial que conduce los experimentos de una forma más rápida y eficiente en la dirección hacia la mejora de los valores óptimos manteniendo constantes los valores controlables (Bhattacharya y Priyanka 2013, De la Vara 1991). Esta metodología ha sido ampliamente utilizada en la optimización de la formulación de productos alimenticios (Milan *et al.* 2003).

Así se muestra una alternativa para el aprovechamiento y optimización de coproductos a través de la elaboración de una emulsión cárnica con características funcionales optimizadas para ser usada como materia prima en la elaboración de productos embutidos de la planta de Cárnicos de Zamorano pudiendo ser una opción para reducir costos de formulación, mejorar el aprovechamiento de los animales cosechados, así como mejora en la calidad nutricional de los productos cárnicos procesados.

El propósito del estudio fue la optimización de una emulsión a partir de tres coproductos cárnicos de cerdo mediante la formulación de veinte tratamientos que permitan alcanzar los siguientes objetivos:

- Identificar la variables que afectan la viscosidad, estabilidad y color de las emulsiones.
- Plantear un modelo matemático para obtener los valores de cada una de las variables respuesta viscosidad, estabilidad y color de las emulsiones cárnicas.
- Identificar el punto óptimo para obtener una emulsión con las características deseadas utilizando la función de utilidad para la optimización.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación. La investigación se realizó en el Laboratorio de Análisis de Alimentos de Zamorano, ubicado en la Escuela Agrícola Panamericana en el km 32 al Este de Tegucigalpa, Departamento de Francisco de Morazán, Honduras, C.A.

Las condiciones ambientales promedio de la sala donde se realizó el estudio fueron de 23 ± 1.09 °C y $53\pm 2.9\%$ HR.

Coproductos. Se obtuvieron los coproductos hígado, riñón y corazón de la Planta de Cárnicos de Zamorano, los mismos son producto de cosechas de cerdos de las granjas de Zamorano con una edad promedio de 6 meses, fueron recolectados y limpiados, para ser trasladadas a la Planta de Innovación Alimentaria (PIA) en donde fueron trituradas en el procesador de alimentos (Kobart modelo FP41) hasta tener un tamaño de partícula aproximado de 3 mm. Fueron colocadas en bolsas de dos libras y trasladadas al Laboratorio de Análisis de Alimentos de Zamorano donde se mantuvieron a -21 °C hasta su procesamiento (tiempo de almacenamiento no mayor a 24 h)

Aditivos e ingredientes. Se usó aceite de girasol (*Helianthus annuus L.*) de calidad comercial, también se agregaron aditivos como sal, eritorbato de sodio y nitrito de sodio grado alimenticio.

Composición proximal de los coproductos. El contenido total de proteína fue determinado por el método descrito AOAC 2001.11, Humedad por el método AOAC 945.15, Grasa cruda determinada por AOAC 991.36 (AOAC 1997) y el pH se determinó de acuerdo a la Norma técnica mexicana (NMX-F-317-S-1978) usando el potenciómetro AOKTON pH tester spear a 20 ± 2 °C. Se calibró el potenciómetro con solución buffer estándar a pH 7.0.

Optimización de parámetros de proceso usando metodología de superficie de respuesta. Las variables independientes analizadas son % Relación Riñón: Corazón, % Hígado y % Hielo adicional al bloque cárnico, esto en base a 250 g de peso del bloque cárnico por tratamiento.

En primera instancia se realizaron una serie de pruebas para el ajuste de la metodología experimental, esto principalmente para relacionarse con la formulación de las emulsiones y estandarización de los tiempos y procesos, para luego establecer el diseño experimental en base a pruebas preliminares usando un diseño factorial completo con 3 repeticiones, de la cual en base a la experiencia del investigador y datos propuesto se obtuvieron los puntos centrales.

Diseño experimental. Este es un experimento factorial completo 2^3 estadísticamente delineado en la metodología de superficie de respuesta con un diseño de composición central rotacional de 2^{do} orden (DCCR). Los parámetros del proceso fueron codificados (-1, 0, +1), esto de acuerdo a la ecuación 1:

$$xi = Xi - \frac{Z}{\Delta xi} \quad [1]$$

Dónde:

- xi = Valor codificado de la variable Xi
- Xi = Valor real de la variable
- Z = Valor real de la variable en el punto central
- Δxi = Valor del intervalo de variación de xi

Para obtener un entorno experimental más acotado se delinearon las variables axiales $-\alpha$ y $+\alpha$, este valor depende del número factorial ($F = 2^k$), donde K es el número de variables independientes ($K=3$), los valores son definidos por la ecuación 2.

$$\alpha = (F)^{\frac{1}{4}} = (2^k)^{\frac{1}{4}} = 1.682 \quad [2]$$

El número de unidades experimentales para esta metodología es un diseño factorial completo definido por la ecuación 3.

$$n = 2^k + 2k + m \quad [3]$$

Dónde:

- 2^k = número de puntos factoriales
- $2k$ = número de puntos axiales
- m = número de réplicas del punto central

Se utilizaron tres variables independientes y tres niveles codificados usando un total de 20 unidades experimentales, siendo ocho factoriales combinación de los niveles -1 y +1, seis axiales $-\alpha$ y $+\alpha$ y seis puntos centrales sirviendo como estimado del error experimental y determinando la precisión del modelo matemático (Cuadro 1). El experimento se condujo por triplicado para determinar la variabilidad de los datos.

Cuadro 1. Descripción del diseño experimental.

Expresión		Cantidad puntos
$2^k = 2^3$	8	Factoriales
$2k = 2*3$	6	Puntos axiales
m	6	Puntos centrales
	20	Ensayos

Fuente: Box y Draper 1959; adaptado por la autora.

El análisis de los resultados experimentales se describe como el comportamiento de un sistema en el que se combinan dos variables independientes y una variable dependiente, donde la respuesta es una función de los niveles en los que se combinan (Box y Draper 1959), como se determina en la ecuación 4.

$$Y = F(X_1, X_2, \dots, X_k) \quad [4]$$

Se realizó también un análisis de regresión para ajustar un polinomio de segundo orden con las variables independientes para cada variable respuesta. La expresión general utilizada para predecir el comportamiento de una respuesta es descrita en la ecuación 5.

$$Y_i = (\beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{11} X_1^2 + \beta_{22} X_2^2 + \beta_{33} X_3^2 + \beta_{12} X_1 X_2 + \varepsilon) \quad [5]$$

Dónde:

- Y_i = Función respuesta
- X_1, X_2 y X_3 = Valores de las variables independientes
- β_0 = Coeficiente relativo con la interpretación del eje
- β_1, β_2 y β_3 = Coeficientes lineales estimados por el método de mínimos cuadrados
- β_{11}, β_{22} y β_{33} = Coeficientes de variables cuadráticas
- β_{12} = Coeficiente de interacción entre variables independientes
- ε = Error experimental

El arreglo del modelo propuesto fue evaluado por el método “regresión por pasos” y el análisis de residuos fue clasificado como “Falta de Ajuste”, la comparación de la proporción de la varianza explicada por el modelo, es decir por el R^2 . Así los coeficientes de la ecuación 5 del mejor modelo polinomio, fueron ajustados a las respuestas del diseño experimental (Moro 2013).

Los niveles de las variables independientes son descritas como la combinación de todos los niveles, axiales ($\alpha = 1.682$) y puntos centrales (Cuadro 2), estos son referentes a las proporciones utilizadas en la formulación.

Cuadro 2. Niveles de las variables independientes para la formulación de emulsiones cárnicas.

Variables	Niveles				
	-a	-1	0	1	+a
X_1 (% relación riñón: corazón)	8.0	25	50	75	92.1
X_2 (% hígado)	5.0	13.1	25.0	36.9	45.0
X_3 (% hielo)	0.6	2.0	4.0	6.0	7.4

El delineamiento del experimento comprende la expresión completa de todas las variables independientes codificadas y decodificadas las cuales serán usadas para la obtención de

los análisis de varianza y coeficientes de regresión, así como para la diagramación de las superficies de respuesta respectivamente (Cuadro 3).

Cuadro 3. Delineamiento del diseño experimental completo.

Tratamiento	Niveles de Variables codificadas			Niveles de variables decodificadas		
	X ₁	X ₂	X ₃	x ₁	x ₂	x ₃
1	-1	-1	-1	25.0	13.1	2.0
2	1	-1	-1	75.0	13.1	2.0
3	-1	1	-1	25.0	36.9	2.0
4	1	1	-1	75.0	36.9	2.0
5	-1	-1	1	25.0	13.1	6.0
6	1	-1	1	75.0	13.1	6.0
7	-1	1	1	25.0	36.9	6.0
8	1	1	1	75.0	36.9	6.0
9	-1.682	0	0	8.0	25.0	4.0
10	1.682	0	0	92.1	25.0	4.0
11	0	-1.682	0	50.0	5.0	4.0
12	0	1.682	0	50.0	45.0	4.0
13	0	0	-1.682	50.0	25.0	0.6
14	0	0	1.682	50.0	25.0	7.4
15	0	0	0	50.0	25.0	4.0
16	0	0	0	50.0	25.0	4.0
17	0	0	0	50.0	25.0	4.0
18	0	0	0	50.0	25.0	4.0
19	0	0	0	50.0	25.0	4.0
20	0	0	0	50.0	25.0	4.0

X₁ y x₁= % relación riñón: corazón

X₂ y x₂= % hígado

X₃ y x₃= % hielo

Análisis estadístico. Se realizó un análisis con un apego a la prueba F a 5% de significancia, el modelo de regresión fue significativo cuando el valor del prueba F calculado fue mayor o igual al F de la tabla de puntos de distribución con lo cual se pudo trazar la superficie (Rodrigues y Lemma 2012).

El procesamiento de los datos fue realizado con ayuda del programa Statistica versión 7.0 para Windows utilizando las variables independientes codificadas para la obtención de los coeficientes de regresión y las variables decodificadas para la generación de las superficies de respuesta.

Se realizó con una separación de medias Tukey y un análisis de varianza ANDEVA con un nivel de probabilidad del 5%, utilizando el programa SAS® versión 9.4 (*Statistical Analysis System*) para todas las variables respuesta así como para las que no generaron un modelo predictivo ni tendencial.

Elaboración emulsiones. Para la realización de los tratamientos se utilizó una balanza (OHAUS, Cs 5000-001) para el pesado de las proporciones de los ingredientes cárnicos y el hielo, la formulación fue desarrollada en base a 250 g de peso del bloque cárnico (Cuadro 4).

Cuadro 4. Formulaciones de los tratamientos.

Tratamientos	Relación riñón: corazón ^o		Hígado (g)	Hielo (g)
	Riñón (g)	Corazón (g)		
1	54.31	162.94	32.75	5
2	162.94	54.31	32.75	5
3	39.44	118.31	92.25	5
4	118.31	39.44	92.25	5
5	54.31	162.94	32.75	15
6	162.94	54.31	32.75	15
7	39.44	118.31	92.25	15
8	118.31	39.44	92.25	15
9	14.91	172.59	62.5	10
10	172.59	14.91	62.5	10
11	118.77	118.77	12.46	10
12	68.73	68.73	112.54	10
13	93.75	93.75	62.5	1.59
14	93.75	93.75	62.5	18.41
15	93.75	93.75	62.5	10
16	93.75	93.75	62.5	10
17	93.75	93.75	62.5	10
18	93.75	93.75	62.5	10
19	93.75	93.75	62.5	10
20	93.75	93.75	62.5	10

^o Peso de la relación en base a proporciones (1:2, 1:1 y 2:1)

Para el pesado de los aditivos sal, eritorbato y nitrito de sodio (2%, 550 y 156 ppm, respectivamente) se utilizó la balanza analítica (OHAUS, Aventurer AR 2140), las cantidades añadidas fueron constantes y calculadas de acuerdo al bloque cárnico, luego estos fueron colocados en bolsas individuales para ser dispensados al momento de preparación de los tratamientos.

Se procedió a sacar de congelación los coproductos previamente procesados y llevarlos a una temperatura aproximada de 0 a 4 °C. El objetivo de mantener bajas temperaturas fue evitar la desnaturalización de las proteínas por sobre calentamiento al momento de formación de la emulsión, como consecuencia, sería necesaria más proteína para enlazar los glóbulos de grasa (Castro 2007).

Una vez obtenidos los ingredientes cárnicos y aditivos estos fueron colocados en una licuadora (Kitchenaid, modelo KSB560) a velocidad media de aproximadamente 8,000 rpm durante 1 minuto para ser mezclados y formar una masa más homogénea como se observa en la Figura 1. Posteriormente se agregaron las cantidades de hielo de acuerdo al tratamiento a preparar, esto a velocidad máxima de aproximadamente 13,000 rpm mezclándose durante 3 min. En una probeta se midieron 75 ml de aceite de girasol los cuales fueron dispensados dentro de la licuadora en forma de hilo (2.1 ml/s aproximadamente) mientras esta continuaba mezclándose a velocidad máxima. Terminada la adición del aceite se dejó homogenizar 20 segundos a velocidad media de 8,000 rpm. Procediendo a pesar y colocar la emulsión en los recipientes para realizar las caracterizaciones.

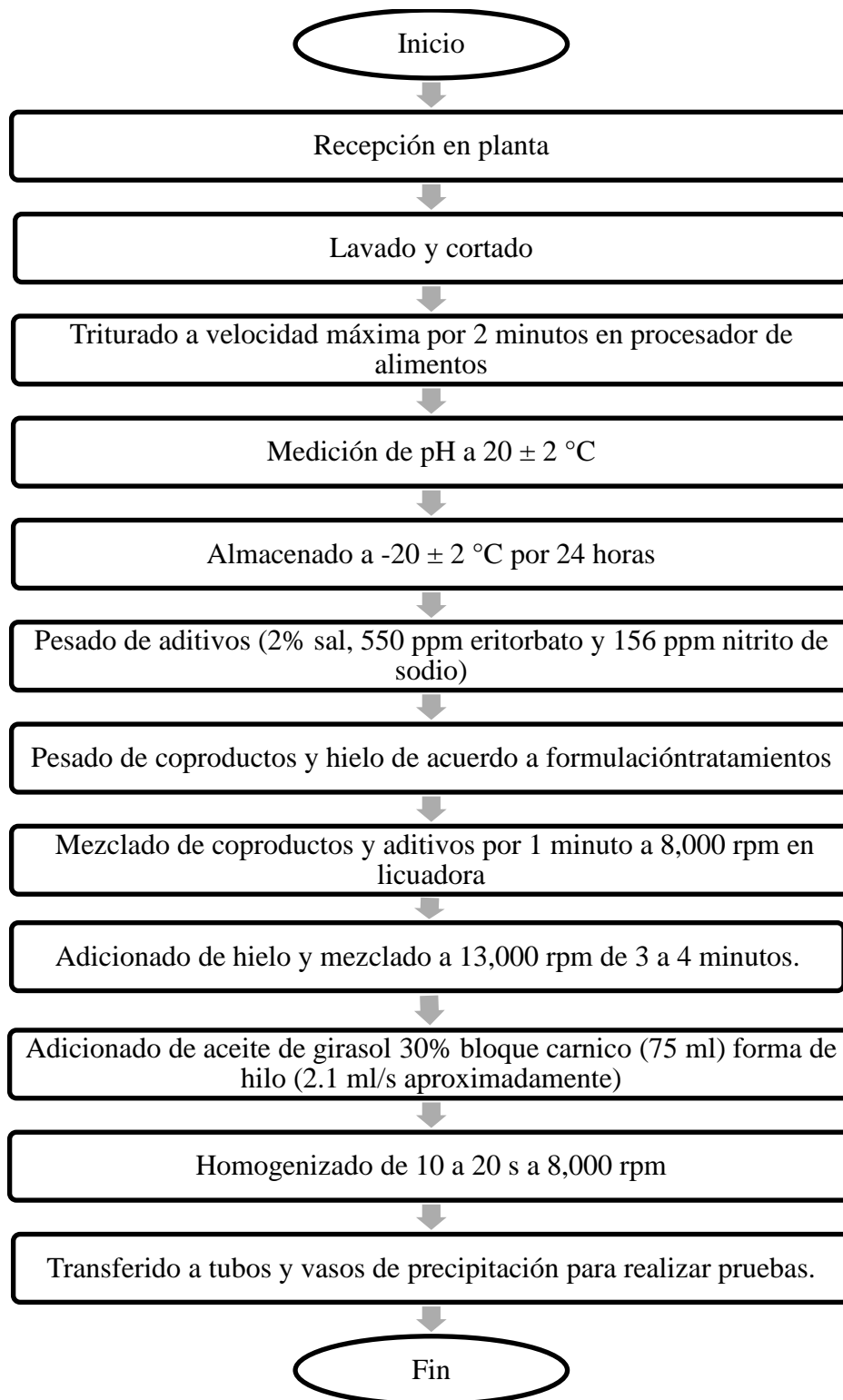


Figura 1. Flujo de proceso para elaboración de emulsiones por tratamientos.

Viscosidad emulsión (EV). Utilizando la emulsión preparada se colocaron 200 ml en un vaso de precipitación, la evaluación fue determinada por el Reómetro de Brookfield DV-III Ultra V6.1 LV spindle LV4 según el método descrito en ISO 1652:2004 se realizó entre 19 – 20 °C, por triplicado, a los dos minutos a 10 rpm, la viscosidad fue reportada en unidades de Pa.s.

Estabilidad emulsión (ES). La estabilidad de la emulsión fue determinada de acuerdo a una adaptación del método usado por Karakaya *et al.* (1997) para este método se separaron 20 g de la emulsión preparada en un tubo de centrifuga, se colocó a 1000 rpm durante 2 minutos en la centrifuga (IEC Model K) para que toda la emulsión quedase en el fondo del tubo, luego se colocó en baño maría a 80 °C hasta que la emulsión alcanzara una temperatura interna de 72 °C, posteriormente se centrifugó a 2000 rpm durante 15 minutos (Arslan 2006).

Terminada la centrifugación, se procedió a colocar la emulsión cocida en un embudo de boca angosta que se encontraba dentro de una probeta de 10 ml dejando reposar la muestra por 6 horas en condiciones ambientales. Transcurrido el tiempo se procedió a medir la cantidad de líquido separado con ayuda a una jeringa graduada.

El índice de la estabilidad de la emulsión fue determinada por la Ecuación 6 (Pearce y Kinsella 1978)

$$IEE = 1 - \frac{\text{Volumen separado de la emulsión}}{\text{Volumen aceite de la emulsión}} \quad [6]$$

Los valores del índice tienen un rango de 0 a 1, donde 0 representa pobre estabilidad de emulsión y 1 alta estabilidad.

Análisis de color. El color se evaluó el día 1 de la muestra de la emulsión cocida, utilizando el Hunter Lab Modelo 45/0. Se midió el color de tres réplicas por cada tratamiento y posteriormente se calculó un promedio. Los resultados se presentaron como la media de nueve mediciones de la escala de triple estímulo (L a b) L (0 negro y 100 blanco), a (-60 a 0 verde y de 0 a +60 rojo), b (-60 a 0 azul y 0 a +60 amarillo).

Función de utilidad. Una vez obtenidos los criterios de optimización se trazó una función de utilidad con ayuda del programa estadístico Statistica 7.0 con propósito de realizar la optimización múltiple de las variables independientes a partir del supuesto de que existe una combinación predicha en la cual todas las variables respuesta alcanza su punto óptimo, manipulando únicamente las variables independientes del estudio.

Esta función otorga un número entre 0 y 1 a los valores posibles en donde 1 representa la respuesta deseable y 0 la no deseable.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Valoración general. Los 20 experimentos fueron conducidos de forma similar con los mismos aditivos, aceite y equipos, bajo las condiciones descritas en la metodología.

El análisis de superficie de respuesta es un diseño ampliamente usado para estudiar el efecto de una cantidad determinada de variables y buscar las condiciones óptimas de un sistema (Moreno *et al.* 2011) usando en este caso como variables las fuentes relación riñón: corazón, hígado y hielos sobre dos propiedades funcionales y una óptica y de aceptación del consumidor como son índice de estabilidad, viscosidad y color respectivamente en emulsiones cárnicas a partir de coproductos de cerdo.

El diseño de composición central rotacional sugiere un modelo cuadrático en base al conjunto de resultados experimentales (Bhattacharya y Priyanka 2013). Se dice que el modelo es rotacional ya que presenta la propiedad de generar un modelo en el cual la varianza de la respuesta predicha en cualquier punto del espacio experimental está solamente en función de la distancia al centro del diseño.

Composición proximal de los coproductos. La proteína actúa como un surfactante que ayuda a reducir la tensión de la interface. Los factores que se ven inherentes en la estabilidad de la emulsión (Hui *et al.* 2012). Muchos de los emulsionantes son moléculas anfipáticas con una parte polar y otra no polar en la misma molécula (McClements 2005).

Cuando se habla de emulsiones cárnicas estas son catalogadas como emulsiones O/W (aceite en agua, por sus siglas en inglés), por lo cual el principal emulsionante es la proteína miofibrilar (Hui *et al.* 2012).

El hígado con 21.99% (Cuadro 5) fue el que presentó mayor porcentaje de proteína. Sin embargo, en este caso cabe destacar la calidad de la proteína y su habilidad de ligar compuestos como la grasa y el agua, en el caso del hígado es conocida como proteína de baja calidad. Coproductos como el corazón presentan una proteína de mejor calidad aunque tenga la menor cantidad en porcentaje 14.16%.

La cantidad de proteína es importante en la formulación, esto ya que las proteínas miofibrilares solubles son más eficientes y ayudan a estabilizar la emulsión (Totousaus 2006), además de tomar en consideración los sabores residuales (Oliva y Ostria 2013) razón por la cual hay que ser cautelosos al adicionar hígado en las formulaciones, procurando no afectar de forma significativa las características organolépticas. Estudios han demostrado que una adición de hasta 30% de vísceras en productos cárnicos es aceptada por los consumidores (Solano 2012).

La cantidad de grasa reportada en estos coproductos no afecta de forma significativa las

características de la emulsión ya que es menor al 2%, lo cual es muy similar a la cantidad de grasa reportada en un músculo magro (Marchetti 2014), existe una alta variabilidad en los valores reportados de grasa para los distintos coproductos (Ockerman y Hansen 2000), es así que al ser comparado con la media aritmética reportada, demuestra una mayor dispersión de los datos esto es principalmente cantidades reportado debido a que el riñón presenta mínima grasa comparado con los otros coproductos. La humedad por su parte, se comporta muy cercana a la literatura (Ockerman y Hansen 2000) estando todos arriba del 70% de humedad.

El pH es otro factor a tomar en consideración ya que este afecta directamente la estabilidad de las proteínas, esto debido al punto isoeléctrico de la misma. Sin embargo, para fines de este estudio se registró el pH de los coproductos (Cuadro 5), este es importante también ya que a pH debajo de 6 hay una mejor reacción del óxido nitroso con la mioglobina por lo cual se fija mejor el color (Pérez y Andujar 2000), así mismo se ha visto que hay una correlación alta entre la Capacidad de Retención de Agua (CRA) y el pH cuando este está en el intervalo de 5.4 a 5.85 (Hamm 1960) dado esto los coproductos manejan pH adecuados para tener una CRA de media a alta.

Cuadro 5. Medias y desviación estándar (DE) de análisis proximal y pH de los coproductos utilizados para la formulación de emulsiones cárnicas.

Coproducto	Humedad[©] (%) ± DE	Grasa[ⓧ] (%) ± DE	Proteína[Ⓥ] (%) ± DE	pH[®] ± DE
Hígado	73.02 ± 0.04	1.14 ± 0.16	21.99 ± 0.06	5.93 ± 0.04
Riñón	82.71 ± 0.09	0.16 ± 0.08	17.50 ± 0.04	6.47 ± 0.05
Corazón	79.84 ± 1.38	1.74 ± 0.40	14.16 ± 0.01	5.70 ± 0.10
CV %^p	0.63	21.56	0.88	1.04

Métodos usados [©] AOAC 2001.11, [ⓧ] AOAC 945.15, [Ⓥ] AOAC 991.36

[®] NMX-F-317-S-1978.

CV %^p = Coeficiente de variación.

Análisis de viscosidad. Los valores más altos de viscosidad (Pa.s) fueron reportados por los tratamientos 1, 3, 5, 7, 9 y 11, los cuales en la relación riñón: corazón (X₁) tienen el 75% de corazón, por otro lado se observa que % hígado (X₂) y hielo (X₃) en los tratamientos 1, 3, 5 y 7 es indiferente y no causa en sí un aumento de la viscosidad (Cuadro 6). Estos tratamientos no presentaron diferencia significativa con el tratamiento 14 es cual es un axial (+α) de X₃.

El tratamiento 9 se trata de un axial (-α) de X₁ en donde el 92% es corazón, este registró una viscosidad alta, pero más baja comparada con el tratamiento 1. Lo que se puede apreciar en este tratamiento es que la cantidad de hielo que fue adicionado a esta formulación (2%) fue la más baja al igual que la cantidad de hígado (13.1%) (Cuadro 6). Esto nos indica que en peso el corazón represento la mayor proporción este tratamiento, razón por la cual la viscosidad fue la más alta reportada, así aunque el axial del tratamiento 9 contuviera en porcentaje más corazón sí afecto la cantidad de hígado y

hielo añadido disminuyendo la viscosidad. Estas situaciones guardan mucho sentido tomando en consideración que el corazón es considerado uno de los tejidos animales con cohesividad media, es decir una mediana habilidad de atrapar los componentes adicionados, a diferencia del hígado, el cual es considerado un ingrediente de relleno.

Cabe mencionar que la presencia de NaCl (2 a 3%) en productos cárnicos aumenta la CRA de las proteínas miofibrilares cuando estas se hallan por encima de su punto isoeléctrico (Benzzo *et al.* 2009).

El tratamiento 11 reportó una alta viscosidad aunque tuvo la relación de 50% de X_1 de una vez más en este caso se puede observar el efecto de la cantidad de hígado en la formulación ya que al este ser un axial ($-\alpha$) contenía 5% hígado en la formulación este bajo contenido hizo que aumentara la viscosidad del tratamiento.

Los tratamientos con las viscosidades más bajas reportadas fueron 2, 4, 6, 8, 10 y 12. En estos tratamientos se puede identificar el porcentaje de riñón en la relación era 75% (Cuadro 6).

El tratamiento 10 al ser un axial X_1 ($+\alpha$) demostró el comportamiento que se da a mayor cantidad de riñón añadida a la formulación con menor viscosidad, siendo este tratamiento el que reportó la más baja viscosidad. Las viscosidades reportadas en los puntos centrales no tuvieron diferencias significativas entre sí.

La cantidad de hielo añadido a las formulaciones por su parte mostró un efecto estable, es así que cuanto más o menos hielo se añadía, éste no cambiaba directamente la viscosidad de la emulsión, demostrando que los factores que sí afectaban era la proporción de vísceras agregadas.

Debido a que hay muchos factores que se ven considerados en la naturaleza química y termodinámica de las emulsiones cárnicas, la viscosidad esta expresada en gran medida por el tamaño de la partícula y su distribución en la fase dispersa (Hui *et al.* 2012).

Cuadro 6. Media y desviación estándar (DE) del efecto de las variables independientes sobre la Viscosidad (Pa.s) (Y1) de emulsiones cárnicas a partir de coproductos.

Tratamiento	% Relación Riñón: Corazón X1	% Hígado X2	% Hielo X3	Viscosidad de emulsión (Pa.s) Y1 ± DE
1	25	13.1	2	59.975 ± 0.011 ^a
2	75	13.1	2	37.664 ± 0.517 ^f
3	25	36.9	2	59.829 ± 0.088 ^a
4	75	36.9	2	49.388 ± 0.476 ^d
5	25	13.1	6	59.599 ± 0.532 ^a
6	75	13.1	6	42.722 ± 0.921 ^e
7	25	36.9	6	59.601 ± 0.593 ^a
8	75	36.9	6	29.370 ± 0.397 ^g
9	8	25	4	59.507 ± 0.506 ^a
10	92.1	25	4	24.821 ± 1.697 ^h
11	50	5	4	59.889 ± 0.015 ^a
12	50	45	4	49.824 ± 1.763 ^d
13	50	25	0.6	53.912 ± 0.839 ^c
14	50	25	7.4	57.922 ± 0.551 ^{ab}
15	50	25	4	55.839 ± 1.057 ^{bc}
16	50	25	4	55.268 ± 0.669 ^c
17	50	25	4	54.900 ± 0.662 ^c
18	50	25	4	54.669 ± 0.939 ^c
19	50	25	4	55.540 ± 1.236 ^{bc}
20	50	25	4	55.061 ± 1.033 ^c
Coefficiente de Variación (%)			1.56	

^{a-h} diferente letra representa diferencias significativa $P \leq 0.05$

El R^2 encontrado fue de 0.9295 para la viscosidad de la emulsión lo cual nos demuestra que un 92.95% de los datos fueron predichos por el modelo y solo 7.05% de los mismo no fueron explicados por el modelo (Cuadro 7). Esto revela que el modelo propuesto tuvo significancia estadística y que los datos al ajustarse al modelo nos permiten tener un modelo predictivo, siendo éste capaz de identificar las respuestas dentro del conjunto de datos o región experimental delimitada dentro del estudio.

Cuadro 7. Análisis de varianza, coeficientes de regresión y R² para Viscosidad de emulsión (Pa.s) en función de % relación riñón: corazón (X₁), % hígado (X₂) y % hielo (X₃) en las formulaciones.

	Viscosidad (Pa.s)
Intercepto	5.52E+01***
X₁	-1.01E+01***
X₂	-1.37E+00***
X₃	-6.46E-01**
X₁²	-4.81E+00***
X₂²	-3.27E-01*
X₃²	4.74E-02 [‡]
X₁ X₂	-1.86E-01 [‡]
X₁X₃	-1.79E+00***
X₂ X₃	-3.12E+00***
R²	0.9295

X₁: relación riñón: corazón (%)

X₂: hígado (%)

X₃: hielo (%)

[‡] No significativo, *** significativo a P< 0.001, ** significativo a P< 0.01; * significativo a P< 0.05

La expresión matemática que representa la viscosidad (Pa.s) es un modelo cuadrático de segundo orden con productos cruzados los cuales son expresados por los coeficientes significativos, entre la viscosidad de la emulsión y las variables independientes, se expresa de acuerdo a la Ecuación 7.

$$\text{Viscosidad Pa.s (Y}_1\text{)} = 55.2434 - 10.1186X_1 - 1.36693 X_2 - 0.6457 X_3 - 4.8137 X_1^2 - 0.3273 X_2^2 - 1.7945 X_1X_3 - 3.1160 X_2X_3 \quad [7]$$

Se realizó la prueba F con 5% de significancia obteniendo 54.14 de valor F calculado por lo que al compararse con la F de la tabla 2.96 (Anexo 2) se identificó la validez para graficar la respuesta dado que el F calculado es mayor al F de la tabla.

Las Figuras 2 - 4 expresan las superficies de respuesta generadas por el modelo propuesto, estas demuestran las interacciones entre las variables y el valor óptimo en la viscosidad de la emulsión Pa.s.

Manteniendo un nivel constante de 4% de hielo en la que se puede expresar que los valores más altos para las dos respuestas se encuentra entre 9 y 40% Relación Riñón: Corazón (X₁) y en donde alcanza un punto óptimo entre 0 y 28% de hígado (X₂), es decir donde la viscosidad de la emulsión toma los valores más altos tomando en consideración

las variables estudiadas (Figura 2). Esto demuestra, de forma preliminar, que al aumentar el porcentaje de corazón en la emulsión aumenta la viscosidad de la misma ya que como se puede observar los valores más altos de viscosidad se encuentran en los valores bajos de porcentaje de riñón en la formulación. Así mismo el rango específico en el cual demuestra su óptimo el hígado es mucho más amplio con lo cual nos demuestra que su influencia esta desencadenada por el otro factor.

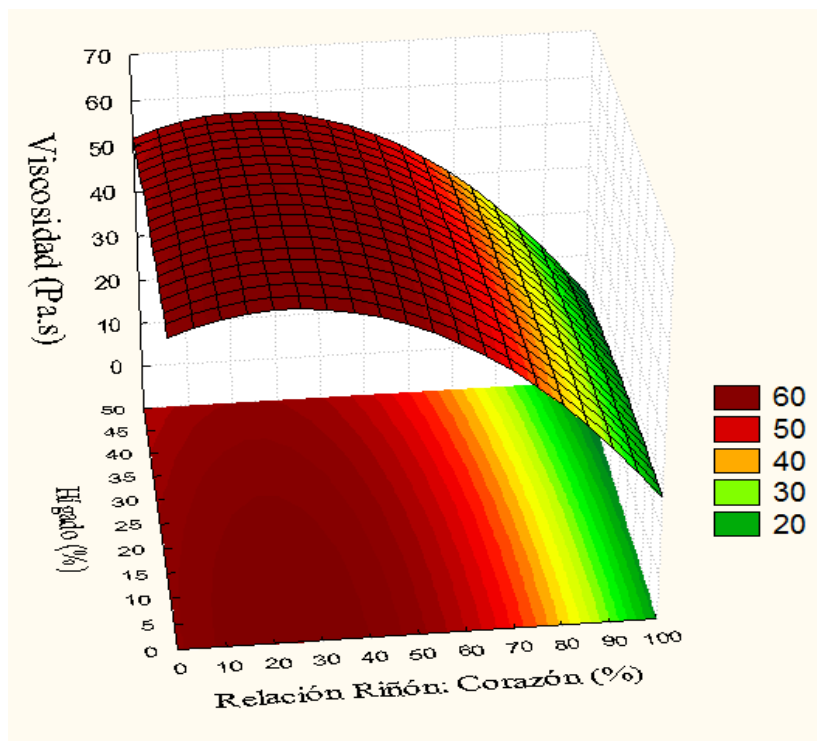


Figura 2. Efecto de dos variables independientes cuantitativas % relación riñón: corazón y % hígado en la Viscosidad (Pa.s) de emulsiones cárnicas a partir de coproductos.

Por otra parte la expresión del óptimo 60 Pa.s en viscosidad (Figura 3), se da cuando Hielo (X_3) toma valores entre 6 y 8% y se optimiza junto a la variable Relación Riñón: Corazón (X_1) la cual mantiene valores de entre 3 y 30%. Sin embargo, como se puede observar, al aumentar el porcentaje de riñón la viscosidad baja.

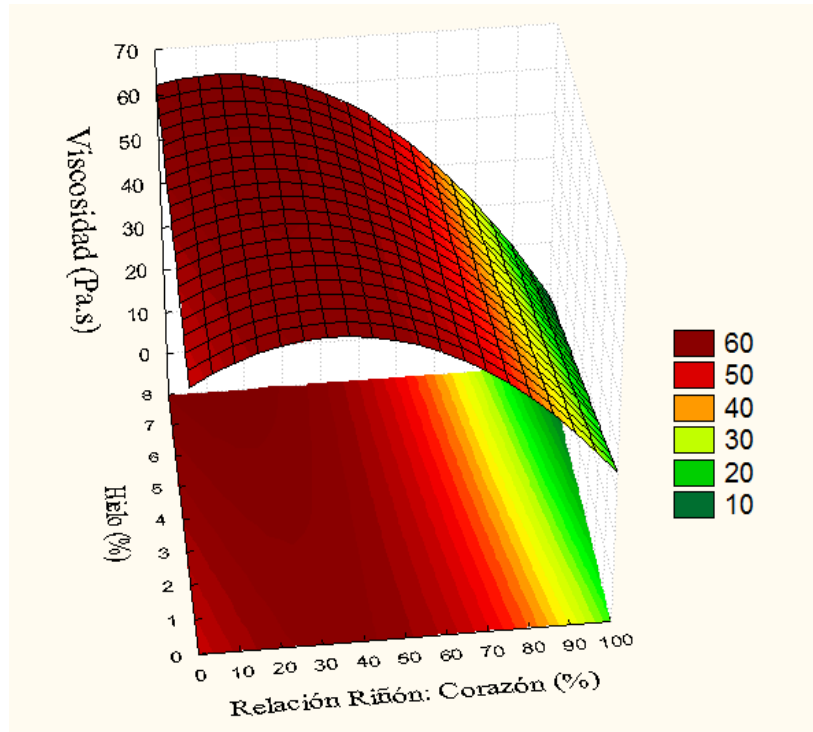


Figura 3. Efecto de dos variables independientes cuantitativas % relación riñón: corazón y % hielo en la Viscosidad (Pa.s) de emulsiones cárnicas a partir de coproductos.

Al observar el comportamiento de la Figura 4 se puede apreciar un punto de silla el cual es un punto crítico, pero no expresa ni un máximo ni un mínimo, por lo cual la función puede tomar ambas direcciones. Así la viscosidad está condicionada bajo varios parámetros cuando la cantidad de hígado aumenta y el hielo se mantiene constante en 2% la función alcanza valores altos, y así mismo cuando baja la cantidad de hígado entre 0 y 10% pero el porcentaje de hielo aumenta alcanza máxima viscosidad. Esto da un panorama en el cual las dos variables tienen un efecto inverso sobre la misma variable respuesta.

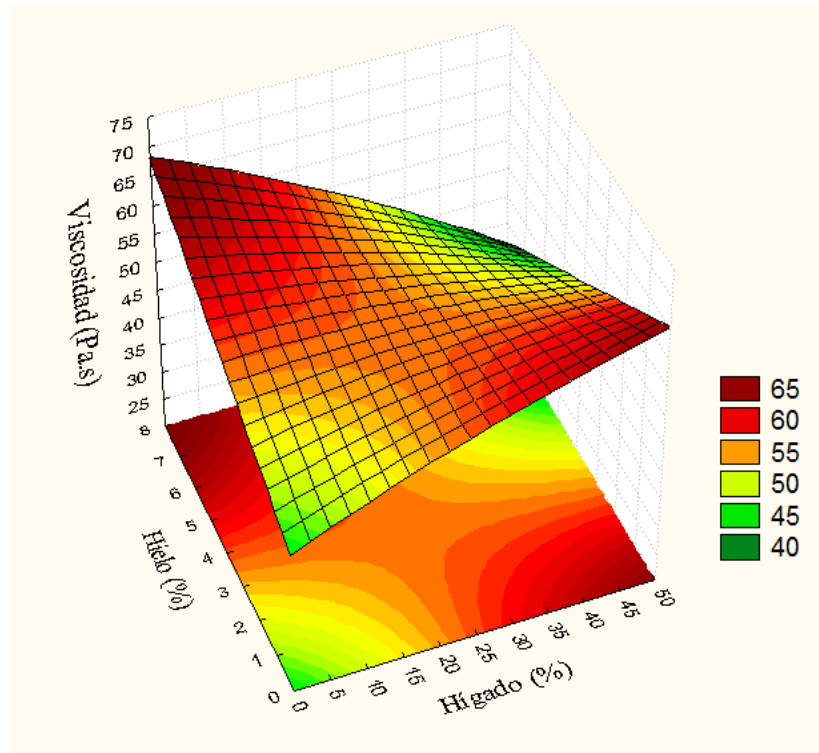


Figura 4. Efecto de dos variables independientes cuantitativas % hígado y % hielo, en la Viscosidad (Pa.s) de emulsiones cárnicas a partir de coproductos.

Las observaciones demostraron que el punto óptimo de la viscosidad (Pa.s) se alcanza cuando se adiciona 25 a 35% Hígado, 6 a 8 % hielo y 9 a 40% relación riñón: corazón.

Índice de estabilidad de emulsión. El índice de estabilidad de emulsión nos indica que tan alta o tan baja es la estabilidad siendo 1 alta y 0 baja.

Este índice nos permite conocer la habilidad de la emulsión de permanecer estable a las condiciones expuestas, se sabe que las proteínas miofibrillas tienen la capacidad de evitar la coalescencia, que es una de las principales causas de la inestabilidad de las proteínas (Hui *et al.* 2012)

En este caso los tratamientos que presentaron las estabilidades más altas, cercanas a 1 fueron los tratamientos 4, 7 y 10 los cuales no tienen características en común. El tratamiento 4 y 10 presenta una relación riñón: corazón (X_1) con un 75 y 92.1% riñón respectivamente, el tratamiento 7 tiene en la misma relación 75% corazón lo cual no nos da una tendencia a esperar que la estabilidad aumente o disminuya al manipular esta variable. Por otro lado los porcentajes de hígado mostraron una tendencia más clara ya que para los tratamientos 4 y 7 esto ya que presentaban los niveles más altos de hígado (36.9%), entonces planteamos que cuando el porcentaje de hígado es el más alto y la relación aumenta en porcentaje de riñón conseguimos una estabilidad más alta (Cuadro 8).

Al introducir cargas negativas adicionales en la proteína estas reaccionan con los anhídridos dicarboxílicos resultando en el incremento de la solubilidad en soluciones de pH neutro o ligeramente alcalino. Existe una correlación positiva entre la solubilidad de la proteína y la habilidad de la proteína de emulsionar. Un incremento en la solubilidad de la proteína puede ayudar a que haya una migración y absorción rápida de la proteína en la interface agua – aceite. La absorción puede bajar la tensión superficial entre el agua y el aceite y estabilizar la emulsión (Magdassi y Toledano 1996).

Las tratamientos 2, 3, 14, 15, 17, 18, 19 y 20 no presentaron diferencias significativas entre tratamientos, no existiendo diferencias significativas entre los tratamientos más altos. El comportamiento de los tratamientos 15, 17, 18, 19 y 20 nos indica que el punto central no presentó diferencias significativas con las medias de otros tratamientos, esto nos ayuda en ver la competencia de la elección del punto central (Cuadro 8). Factores como el tiempo de troceado y cantidad de grasa afectan de forma significativa a la estabilidad, sin embargo, dado que todos los tiempos fueron cronometrados y estandarizados para los tratamientos, este no es un factor controlado (Álvarez *et al.* 2007) otras variables clasificadas como error humano comprometen de mayor forma el experimento. La adición de otros ingredientes como gomas, carrageninas y alginatos aumentan considerablemente la estabilidad de las emulsiones cárnicas, lo cual sería una de las soluciones en este tipo de productos cárnicos para extender la estabilidad durante el tiempo de anaquel. Estudios en emulsiones tipo mortadela adicionadas con aceite vegetal, demuestran que al adicionar más del 10% de aceite se incrementaron las pérdidas (Pérez *et al.* 2010) lo cual no se vio reflejado en el presente estudio, ya que con 30% de grasa adicionada se reportaron índices de estabilidad de 0.994 muy cercano a 1, con lo cual se determina alta estabilidad (Perarce y Kinsella 1978).

Otra posible causa de la falla en la estabilidad de los lípidos puede ser por los iones caotrópicos de las sales, los cuales son capaces de desestabilizar la estructura bicapa lipídica reduciendo la energía para exponer los grupos no polares dentro de la membrana (Marchetti 2014). Estudios en masa de Frankfurt cuando se añadió 25% de una mezcla de aceites vegetales, mostraron pérdidas en la cocción (Tan *et al.* 2001).

Cuadro 8. Media y desviación estándar (DE) del efecto de las variables independientes sobre el Índice de estabilidad (Y2) de emulsiones cárnicas.

Tratamiento	% Relación Corazón X1	% Riñón: X2	% Hígado X3	% Hielo X3	Índice de Estabilidad de emulsión Y2 ± DE
1	25	13.1	2	2	0.998 ± 0.0005 ^{bcd}
2	75	13.1	2	2	0.999 ± 0.0003 ^{abc}
3	25	36.9	2	2	0.999 ± 0.0001 ^{ab}
4	75	36.9	2	2	1.000 ± 0.0005 ^a
5	25	13.1	6	6	0.994 ± 0.0008 ^e
6	75	13.1	6	6	0.992 ± 0.0007 ^h
7	25	36.9	6	6	0.999 ± 0.0002 ^a
8	75	36.9	6	6	0.997 ± 0.0002 ^d
9	8	25	4	4	0.994 ± 0.0008 ^e
10	92.1	25	4	4	1.000 ± 0.0000 ^a
11	50	5	4	4	0.997 ± 0.0002 ^d
12	50	45	4	4	0.994 ± 0.0008 ^e
13	50	25	0.6	0.6	0.996 ± 0.0007 ^e
14	50	25	7.4	7.4	0.999 ± 0.0005 ^{abc}
15	50	25	4	4	0.999 ± 0.0003 ^{abc}
16	50	25	4	4	0.998 ± 0.0008 ^{cd}
17	50	25	4	4	0.999 ± 0.0001 ^{abc}
18	50	25	4	4	0.999 ± 0.0001 ^{abc}
19	50	25	4	4	0.999 ± 0.0002 ^{abcd}
20	50	25	4	4	0.999 ± 0.0001 ^{ab}
Coefficiente de Variación (%)				0.06	

^{a-e} diferente letra representa diferencias significativa $P \leq 0.05$

En base al R^2 que fue de 0.3859 para el índice de estabilidad de la emulsión se demostró que solo el 38.59% de los datos fueron predichos por el modelo y 61.41% de los datos no fueron explicados por el mismo (Cuadro 9).

Esto nos revela que el modelo propuesto carece de significancia estadística y que los datos en primera instancia no se ajustan al modelo predicho, el modelo descrito es apenas tendencioso, es decir, nos indica una tendencia de cómo se comportarían los datos en el modelo con las respectivas interacciones de las variables independientes.

Los coeficientes de regresión (Cuadro 9) se toman en consideración para la construcción del modelo matemático. En este caso se tomaron en consideración solo los coeficientes significativos de acuerdo a la probabilidad.

Cuadro 9. Análisis de varianza, coeficientes de regresión y R^2 para índice de estabilidad en función de % relación riñón:corazón (X_1), % hígado (X_2) y % hielo (X_3) en las formulaciones.

Índice de estabilidad de Emulsión	
Intercepto	9.99E-01*
X₁	4.34E-04*
X₂	5.30E-04**
X₃	-4.83E-04*
X₁²	-4.79E-04*
X₂²	-9.11E-04*
X₃²	-3.53E-04 [‡]
X₁ X₂	-1.89E-04 [‡]
X₁X₃	-6.78E-04*
X₂ X₃	1.01E-03**
R²	0.3859

X₁: relación riñón: corazón (%)

X₂: hígado (%)

X₃: hielo (%)

[‡] No significativo, *** significativo a $P < 0.001$, ** significativo a $P < 0.01$; * significativo a $P < 0.05$

La expresión matemática es un modelo cuadrático de segundo orden con productos cruzados, determinado entre el índice de estabilidad de la emulsión y las variables independientes, se expresa de acuerdo a la Ecuación 8.

$$\begin{aligned} \text{Índice de estabilidad (Y}_2\text{)} &= 0.998785 + 0.000434 X_1 + 0.000530 X_2 - 0.000483 X_3 \\ &- 0.000479 X_1^2 - 0.000911 X_2^2 - 0.000678 X_1 X_3 + 0.001011 X_2 X_3 \quad [8] \end{aligned}$$

Se realizó la prueba F con 5% de significancia obteniendo 94.76 de valor F calculado esto al compararse con la F de la tabla 2. 91 (Anexo 2) se identificó que el F calculado es mayor al F de la tabla por lo cual se procedió a graficar las superficies de respuesta. Se ignoraron los efectos de las variables que no fueron significativas, en este caso, la expresión cuadrática del % hielo (X_3) y el producto cruzado de relación riñón: corazón (X_1) con hígado (X_2).

Las Figuras 5 - 7 expresan el comportamiento del índice de estabilidad con respecto a las diferentes combinaciones de los niveles experimentados.

Se puede identificar que el punto óptimo para el índice de estabilidad (Figura 5) se da cuando interactúan las variables hígado (X_2) y relación riñón: corazón (X_1) al alcanzar el valor de estabilidad más cercano a 1. Esta figura demuestra que entre 24 y 32% de hígado y 50 y 75% relación riñón: corazón se encuentra situado el índice máximo identificado en 0.998. Estas serían las variables de mayor peso en la estabilidad de la emulsión tomando en consideración que el modelo tridimensional asume que la tercera variable se encuentra en un valor central constante que sería 4% para hielo (X_3). Cabe destacar que la interacción de estas variables se encuentra cercana al punto central establecido en el experimento, lo cual da competencia al investigador acerca del conocimiento del proceso y la asignación de los mismos.

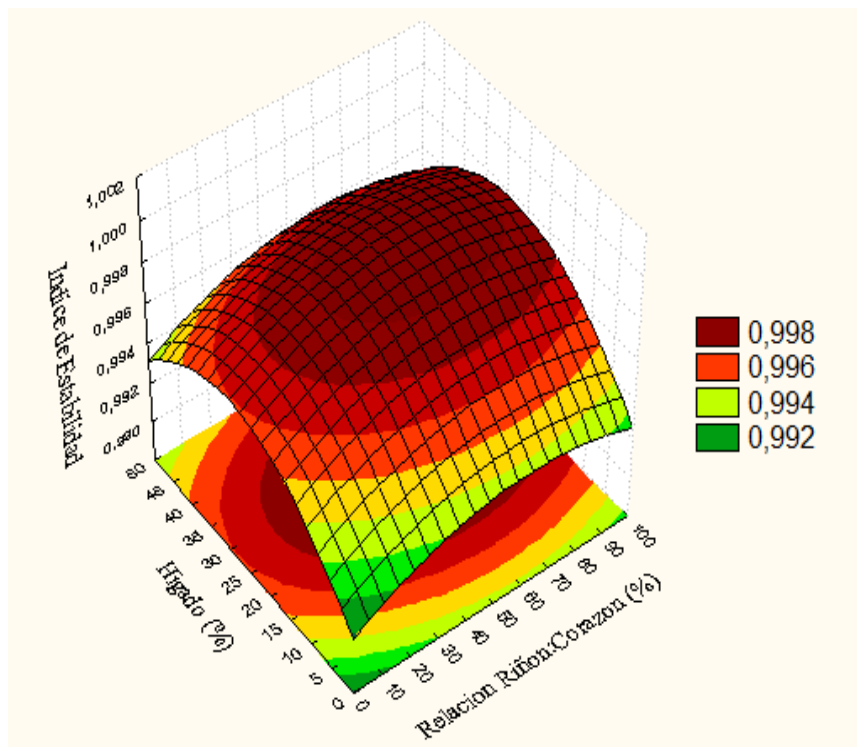


Figura 5. Efecto de dos variables cuantitativas % relación riñón: corazón y % hígado en el índice de estabilidad de emulsiones cárnicas a partir de coproductos.

Cuando tenemos una relación riñón: corazón del 60 a 70% y 2 a 3% de hielo en la formulación la estabilidad es reportada como la más alta (Figura 6). Sin embargo, el diseño se muestra como un punto de silla donde la expresión se ve interferida más por una de las variables siendo relación riñón - corazón la que tiene efecto significativo sobre la expresión del punto óptimo.

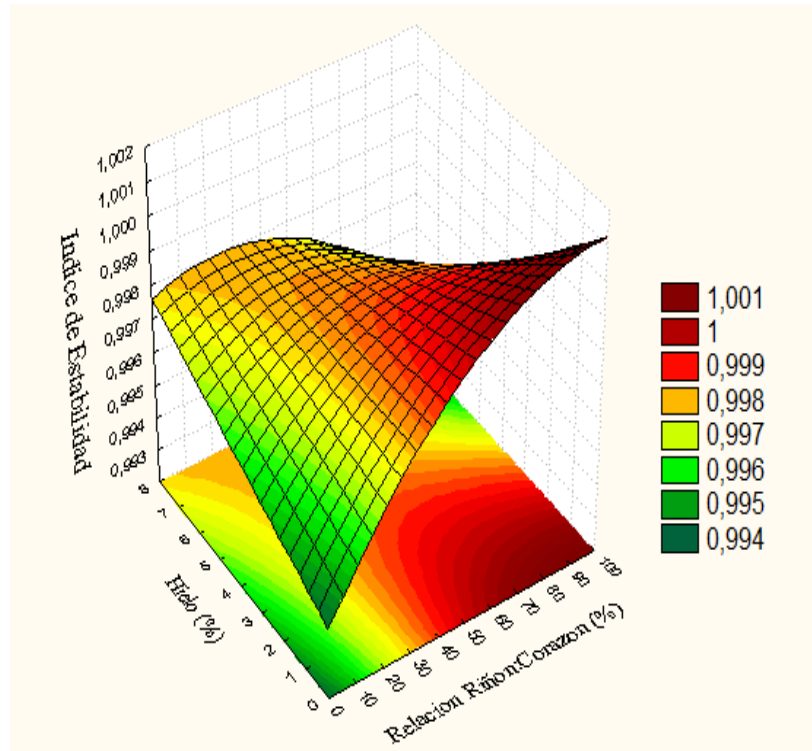


Figura 6. Efecto de dos variables independientes cuantitativas % relación riñón: corazón y % hielo en el índice de estabilidad de emulsiones cárnicas a partir de coproductos.

La relación gráfica existente entre hígado (X_2) y hielo (X_3) tiene la forma de un punto de silla (Figura 7), este es descrito de forma que la gama de interacciones comprende un área no delimitada por completo, así se describe que cuando la variable hígado esta entre 5 y 28% la estabilidad es máxima cuando se tiene hasta un 2% de hielo y decrece cuando se aumenta el porcentaje de hielo. La razón por la cual se observa este comportamiento es probablemente porque al adicionar mayores porcentajes de agua la proteína no soporta tal cantidad a su configuración química, por lo que se debe agregar mayor porcentaje de hígado si quiere maximizarse la estabilidad así de 7 a 8% de hielo necesita entre 35 y 45% de hígado para mantenerse estable.

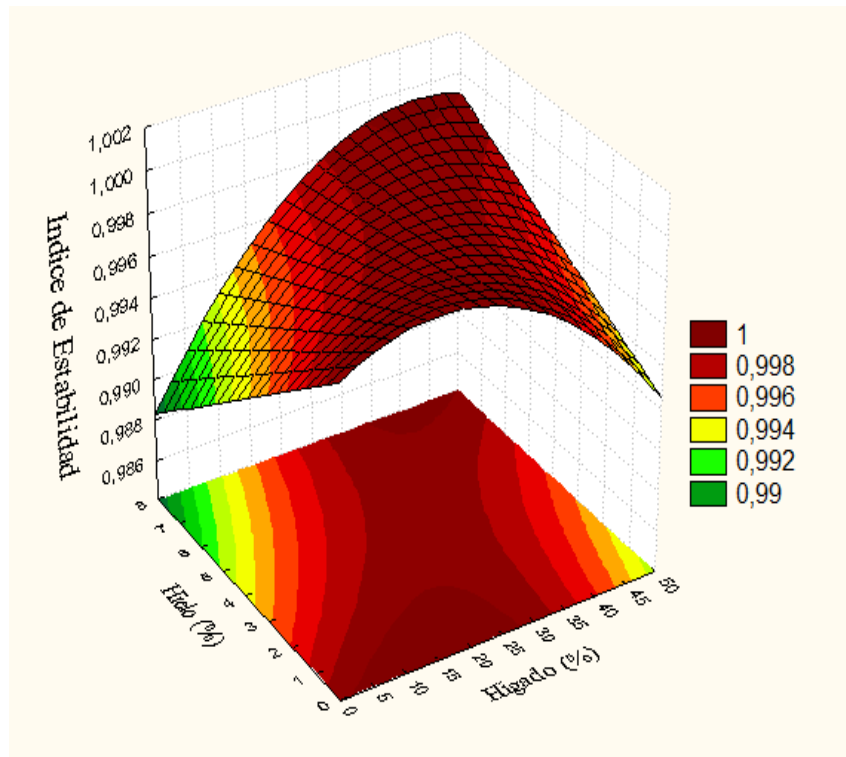


Figura 7. Efecto de dos variables independientes cuantitativas % hígado y % hielo, en el índice de estabilidad de emulsiones cárnicas a partir de coproductos.

Análisis de color. Muchos son los factores que determinan o influyen el color de la carne y los productos cárnicos. Este es uno de los parámetros de calidad para determinar la aceptación de estos productos (Hui *et al.* 2012).

Valor L. Este valor expresa la luminosidad de un producto cárnico, el cual es muy apreciado en términos de percepción y aceptación del consumidor (Jokanovic *et al.* 2014). El oscurecimiento obedece a fenómenos tales como la oxidación del hierro presente en la formulación (Pérez y Andújar 2000), en este caso nos interesa saber la luminosidad de las mismas ya que se conoce que los coproductos tienen mayores cantidades de sangre, lo cual causa oscurecimiento (Benítez *et al.* 2002).

Las emulsiones con mayor luminosidad fueron los tratamientos 5, 6, 11, 17, 18, 19 y 20 de los cuales se puede destacar que el % de hígado (X_2) fue el más bajo o el medio (Cuadro 10) demostrando que la cantidad de hígado añadida a la formulación tiene significancia en la luminosidad de las emulsiones, sin importar en gran medida los porcentajes de la relación riñón - corazón (X_1) y Hielo (X_3) los cuales fueron altos, bajos y medios en los tratamientos evaluados, otras de las causas atribuibles al aumento de la luminosidad obedece a causas de proceso ya que durante la preparación de la emulsión se da la incorporación de aire en forma de burbujas, estas producen una mayor dispersión de la luz incrementando la luminosidad (Palombo *et al.* 1989).

Por otra parte las emulsiones con la luminosidad más baja fueron los tratamientos 3, 4, 9, 12, 13 y 14 que tuvieron porcentajes más elevados de Hígado (X₂) lo cual confirma la hipótesis de que el hígado es el principal causante del oscurecimiento de las emulsiones. El tratamiento 9 a pesar de contener el nivel medio de Hígado fue el menos luminoso, esto debido a que era el axial de la relación riñón: corazón (X₁) en donde el 92% de la proporción era corazón haciendo que la emulsión tuviera menos luminosidad (Cuadro 10). Estudios en salchichas tipo Frankfurt de pollo con adición de ciertos porcentajes de vísceras de cerdo mostraron menor luminosidad a medida que se aumentaba las proporciones de vísceras (Solano 2012).

Cuadro 10. Media y desviación estándar (DE) del efecto de las variables independientes en el análisis de color expresado en valor L en emulsiones cárnicas.

Tratamiento	% Relación Riñón: Corazón X1	% Hígado X2	Hielo X3	L Y3± DE
1	25	13.1	2	48.760 ± 0.075 ^{de}
2	75	13.1	2	49.613 ± 0.102 ^{cd}
3	25	36.9	2	48.710 ± 0.642 ^{def}
4	75	36.9	2	48.890 ± 0.269 ^{de}
5	25	13.1	6	50.507 ± 0.289 ^{abc}
6	75	13.1	6	51.013 ± 0.214 ^a
7	25	36.9	6	49.387 ± 0.167 ^{cde}
8	75	36.9	6	49.087 ± 0.075 ^{de}
9	8	25	4	46.583 ± 0.404 ^h
10	92.1	25	4	48.980 ± 0.592 ^{de}
11	50	5	4	50.530 ± 0.834 ^{abc}
12	50	45	4	47.640 ± 0.284 ^{gh}
13	50	25	0.6	47.433 ± 0.199 ^{fgh}
14	50	25	7.4	48.143 ± 0.134 ^{efg}
15	50	25	4	49.717 ± 0.232 ^{bcd}
16	50	25	4	48.733 ± 1.071 ^{de}
17	50	25	4	50.483 ± 0.211 ^{abc}
18	50	25	4	50.930 ± 0.141 ^{ab}
19	50	25	4	50.967 ± 0.320 ^{ab}
20	50	25	4	50.980 ± 0.412 ^{ab}
Coefficiente de Variación (%)			1.34	

^{a-h} diferente letra representa diferencias significativa P ≤ 0.05

Así también se la reflexión de la luz aumenta en la superficie de la emulsión cuando el picado es fino, esto debido a la liberación de líquidos titulares que son agua libre en la superficie (Benzzo *et al.* 2009).

El R^2 encontrado fue de 0.6183 para el valor L lo cual nos demuestra que el 61.83 % de los datos fueron predichos por el modelo y 38.17% de los datos no fueron explicados por el modelo (Cuadro 11). Esto revela que si bien el modelo no es predictivo expresa más del 50% de los datos en torno al modelo, por lo cual se determina que el modelo descrito es tendencioso, es decir nos, indica una tendencia de cómo se comportarían los datos.

Cuadro 11. Análisis de varianza, coeficientes de regresión y R^2 para valor L, en función de % relación riñón: corazón (X_1), % hígado (X_2) y % hielo (X_3) en las formulaciones

	Valor L
Intercepto	5.03E+01***
X₁	3.86E-01 [‡]
X₂	-6.36E-01 [‡]
X₃	3.82E-01*
X₁²	-5.95E-01 [‡]
X₂²	-1.34E-01 [‡]
X₃²	-5.92E-01 [‡]
X₁ X₂	-1.85E-01 [‡]
X₁X₃	-1.03E-01 [‡]
X₂ X₃	-2.84E-01 [‡]
R²	0.6183

X₁: relación riñón: corazón (%)

X₂: hígado (%)

X₃: hielo (%)

[‡] No significativo, *** significativo a $P < 0.001$, ** significativo a $P < 0.01$; * significativo a 0.05

La expresión matemática es un modelo lineal, determinado entre el Valor L de la emulsión y la variable independiente que afecta la respuesta del mismo, se expresa de acuerdo a la Ecuación 9.

$$\text{Valor L (Y}_3\text{)} = 50.25654 - 0.633559 X_2 \quad [9]$$

Como ésta es una expresión lineal se calculó la prueba F el cual fue de 3.74 este al ser menor que el F de la tabla 4.41 (Anexo 2) nos ratifica que no es posible graficar la superficie de respuesta con una interacción sea esta cuadrática o de productos cruzados siendo solo el efecto lineal de una de las variables la que obedece al comportamiento de la luminosidad.

La expresión matemática en función al valor L nos demuestra que la expresión lineal de la variable X_2 (% de hígado) es la única que tiene influencia sobre la expresión de la luminosidad en las emulsiones cárnicas (Figura 8), siendo determinante en el aumento o disminución de la misma. Esto guarda mucho sentido con el análisis planteado anteriormente donde los tratamientos con medias más altas de valor L eran los que menor porcentaje de hígado adicionado tenían, ratificando el efecto de la adición de vísceras con alto contenido de hierro en el oscurecimiento de las emulsiones (Solano 2012).

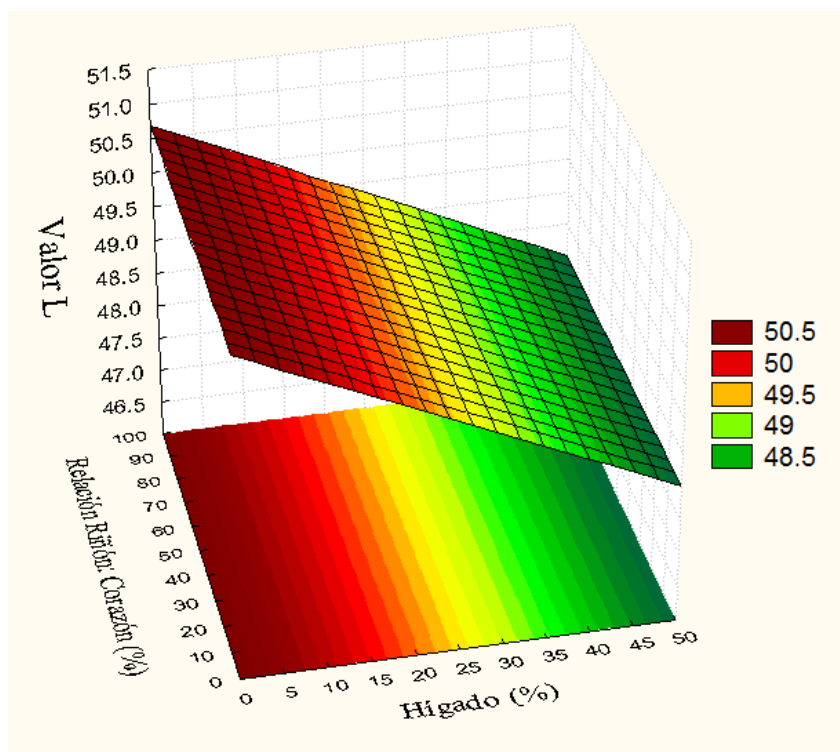


Figura 8. Efecto de dos variables cuantitativas % relación riñón: corazón y % hígado en valor L de emulsiones cárnicas a partir de coproductos.

Valor a. Este valor expresa la escala de verde a rojo (-60 a 0 y 0 a +60), en cuanto más alto es el color mayor es la expresión del rojo, lo cual es deseable hasta cierto punto en emulsiones cárnicas.

El tratamiento más alto en esta variable fue el 9, el cual se identifica que reportó el porcentaje más alto de corazón de la relación riñón: corazón (X_1) siendo el $-\alpha$ de esta variable independiente con un 92% de corazón identificando aparentemente una relación directa entre el % de corazón y el color rojo (valor a) de la emulsión (Cuadro 12). Los tratamientos con las tonalidades más bajas de rojo fueron 6, 11, 18, 19 y 20 estos tenían en común la relación riñón - corazón la cual era el punto central es decir 50% y el porcentaje de hígado que también se mantuvo en el punto central (25%), con excepción del tratamiento 12 en donde se expresaba el axial ($+\alpha$) de la variable porcentaje de hígado para cada proporción (Cuadro 12), siendo variable únicamente el porcentaje de hielo. Lo

cual indica que el porcentaje de hielo no guarda relación significativa en la expresión de la tonalidad roja.

Cuadro 12. Media y desviación estándar (DE) del efecto de las variables independientes en el análisis de color expresado en valor a (Y4) en emulsiones cárnicas.

Tratamiento	% Relación Riñón: Corazón X1	% Hígado X2	% Hielo X3	a Y4 ± DE
1	25	13.1	2	9.780 ± 0.139 ^{bcd}
2	75	13.1	2	9.377 ± 0.047 ^{efg}
3	25	36.9	2	9.777 ± 0.108 ^{bcd}
4	75	36.9	2	9.463 ± 0.050 ^{defg}
5	25	13.1	6	9.513 ± 0.025 ^{def}
6	75	13.1	6	9.187 ± 0.107 ^{fg}
7	25	36.9	6	9.787 ± 0.060 ^{bcd}
8	75	36.9	6	9.483 ± 0.170 ^{defg}
9	8	25	4	10.570 ± 0.111 ^a
10	92.1	25	4	9.470 ± 0.113 ^{defg}
11	50	5	4	9.125 ± 0.097 ^g
12	50	45	4	9.920 ± 0.104 ^{bc}
13	50	25	0.6	10.155 ± 0.115 ^b
14	50	25	7.4	9.913 ± 0.070 ^{bc}
15	50	25	4	9.660 ± 0.095 ^{cde}
16	50	25	4	9.913 ± 0.182 ^{bc}
17	50	25	4	9.423 ± 0.070 ^{efg}
18	50	25	4	9.236 ± 0.135 ^{fg}
19	50	25	4	9.380 ± 0.026 ^{efg}
20	50	25	4	9.227 ± 0.094 ^{fg}
Coefficiente de Variación (%)				7.76

^{a-g} diferente letra representa diferencias significativa P ≤ 0.05

El color rojizo de la emulsión también es potencializado por el curado con nitrito y eritorbato el cual es un acelerador del curado. Otras características como el efecto antioxidante y de conservación (Benzzo *et al.* 2009) también son deseados en este tipo de productos y son los que potencializaron el color en unos tratamientos sobre otros dadas las características de las proteínas y compuestos contenidos en las materias primas, cabe

mencionar que la cantidad adicionada de estos aditivos fue constante para todos los tratamientos. Estudios indican que la adición de nitritos en cantidades excesivas producen la llamada “quemadura del nitrito” que se presenta al momento de cortar el producto, por ello es necesario controlar que la escala del valor a no baje demasiado ya que sería un indicio de este tipo de problemas (Pérez y Andújar 2000).

En relación con los productos cárnicos el color es en función del óxido nítrico proveniente del nitrito de sodio adicionado a la formulación el cual interactúa con la mioglobina formando nitrosilhemocromo, un compuesto que otorga tonalidades rosadas a los productos cárnicos una vez cocidos (Pérez y Andújar 2000), el tiempo de picado es otro factor que aumenta el color ya que se liberan pigmentos naturales a partir de la matriz de tejidos (Pérez *et al.* 1997).

El R^2 encontrado fue de 0.6467 para el valor a lo cual nos demuestra que solo el 64.67% de los datos fueron predichos por el modelo y 35.33% de los datos no fueron explicados por el modelo (Cuadro 13). Esto nos revela que el modelo propuesto no es considerado predictivo, por encontrarse por debajo del 70%, sin embargo explica el comportamiento de gran parte de los datos por lo cual el modelo descrito es tendencioso, indicando la tendencia en torno a las respuestas.

Cuadro 13. Análisis de varianza, coeficientes de regresión y R^2 para índice de color con el valor a en función de % relación riñón: corazón (X_1), % hígado (X_2) y % hielo (X_3) en las formulaciones.

	Valor a
Intercepto	9.48E+00***
X₁	-2.34E-01*
X₂	1.22E-01 [¥]
X₃	1.46E-01 [¥]
X₁²	-5.36E-02 [¥]
X₂²	-6.10E-02 [¥]
X₃²	1.27E-01 [¥]
X₁ X₂	1.42E-02 [¥]
X₁X₃	1.08E-02 [¥]
X₂ X₃	6.08E-02 [¥]
R²	0.6467

X₁: relación riñón: corazón (%)

X₂: hígado (%)

X₃: hielo (%)

[¥] No significativo, *** significativo a $P < 0.001$, ** significativo a $P < 0.01$; * significativo a 0.05

Solo un coeficiente fue significativo para la expresión del valor a siendo este la expresión lineal de la relación riñón: corazón, siendo esta la única que tiene peso para la expresión del color rojo.

La expresión matemática es un modelo lineal, determinado entre el valor a de la emulsión y la variable independiente, se expresa de acuerdo a la ecuación 10.

$$\text{Valor a (Y}_4\text{)} = 9.69668 - 0.234161 X_1 \quad [10]$$

Se realizó la prueba F con 5% de significancia obteniendo 7.71 de valor F calculado esto al compararse con la F de la tabla 4.41.

La gráfica 9 expresa el comportamiento del valor a con respecto a las diferentes combinaciones de los niveles experimentadas para la búsqueda del óptimo.

La cantidad de relación riñón: corazón en todos sus niveles es representativa (Figura 9). En relación del contenido de hígado, el cual no es determinante para maximizar la expresión del color rojo, el aumento de la cantidad de corazón adicionada a la mezcla muestra claramente que solo esta afecta la variables respuesta, esto dado que el coeficiente de la expresión lineal para el valor a es negativo, denotando que cuando el porcentaje primario (correspondiente a riñón) toma valores más bajos, la expresión del color rojo es mayor.

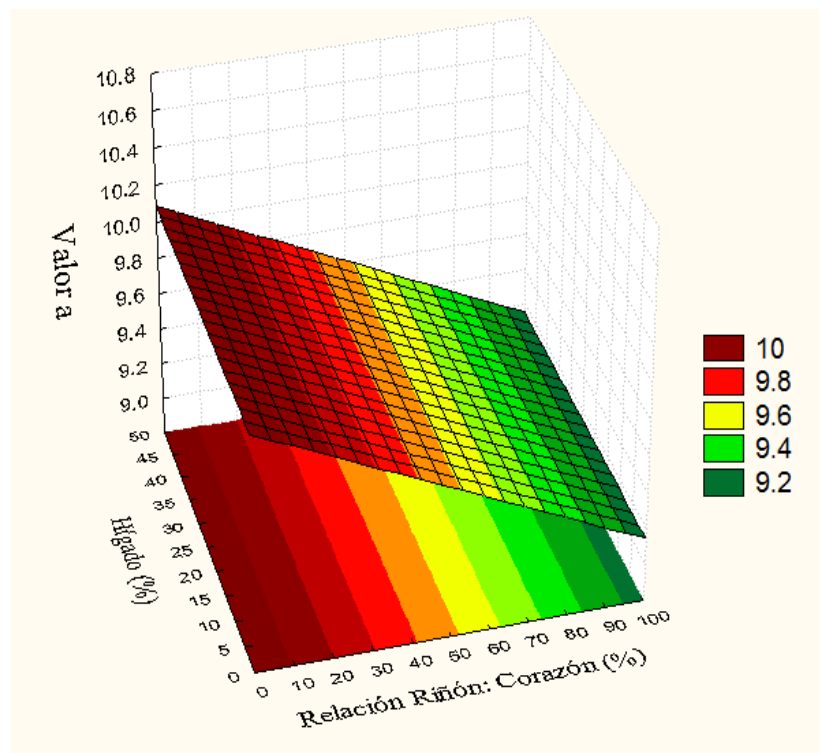


Figura 9. Efecto de dos variables cuantitativas % relación riñón: corazón y % hígado en valor a de emulsiones cárnicas a partir de coproductos.

Valor b. Es de vital importancia conocer el valor b en los productos cárnicos, de este modo este es un parámetro de calidad ya que la escala determina el grado de amarillo en los productos cárnicos, lo cual no es deseable.

Las vísceras presentan tonos amarillosos y verduzcos cuando no tienen manejo adecuado, estos no son deseables en los productos cárnicos (Müller y Ardoíno 1983). Salchichas emulsionadas al ser adicionadas con vísceras de cerdo mostraron cambios de coloración siendo más amarillas conforme se aumentaba la cantidad de vísceras en el día uno (Solano 2012).

Los niveles más altos para el valor b fueron reportados en los tratamientos 12, 17, 18,19 y 20, (Cuadro 14) estos coincidentemente son identificados como puntos centrales del experimento, lo cual nos indica que las proporciones que causan mayor color amarillo en el día 1 de la emulsión son aquellos que tienen porciones de 50% de la relación Riñón: Corazón, 25% Hígado y 4% hielo, solo el tratamiento 12 tuvo una formulación diferente con 45% hígado, el cual pertenecía a uno de los axiales ($+\alpha$) de los tratamientos, no teniendo diferencia significativa con los otros tratamientos, es decir, la combinación de todos los factores son los que condicionan el aumento del color amarillo.

Otro de los procesos que originan el color amarillo en los productos cárnicos es la oxidación de la grasa (Banda 2010), esto principalmente tomando en cuenta la cantidad de ácidos grasos insaturados en la formulación. En este caso, al ser una emulsión con altos contenidos de ácidos grasos insaturados por la adición del aceite de girasol, tiene una alta tendencia al aumento del color amarillo, sin embargo dado que para este estudio solo se evaluó el día uno, este no es un fenómeno que nos preocupe.

Cuadro 14. Media y desviación estándar (DE) del efecto de las variables independientes en el análisis de color expresado en valor b (Y5) en emulsiones cárnicas.

Tratamiento	% Relación Riñón:			b Y5 ± DE
	Corazón X1	% Hígado X2	% Hielo X3	
1	25	13.1	2	10.200 ± 0.020 ^k
2	75	13.1	2	10.753 ± 0.125 ^j
3	25	36.9	2	10.873 ± 0.116 ^{ij}
4	75	36.9	2	11.243 ± 0.029 ^{fg}
5	25	13.1	6	10.247 ± 0.040 ^k
6	75	13.1	6	11.023 ± 0.110 ^{ghij}
7	25	36.9	6	10.943 ± 0.055 ^{hij}
8	75	36.9	6	11.033 ± 0.025 ^{ghi}
9	8	25	4	10.080 ± 0.040 ^k
10	92.1	25	4	11.250 ± 0.160 ^{fg}
11	50	5	4	11.193 ± 0.032 ^{fgh}
12	50	45	4	11.630 ± 0.236 ^{abcde}
13	50	25	0.6	11.387 ± 0.183 ^{ef}
14	50	25	7.4	11.470 ± 0.069 ^{def}
15	50	25	4	11.670 ± 0.117 ^{abcd}
16	50	25	4	11.543 ± 0.097 ^{cde}
17	50	25	4	11.613 ± 0.107 ^{bcde}
18	50	25	4	11.907 ± 0.131 ^a
19	50	25	4	11.780 ± 0.030 ^{abc}
20	50	25	4	11.863 ± 0.031 ^{ab}
Coefficiente de Variación (%)			1.07	

^{a-k} diferente letra representa diferencias significativa $P \leq 0.05$

Estudios demuestran que el incremento de los valores b se dan ya que las partículas de grasa, al estar dispersas en la emulsión, se vuelven más susceptibles a la oxidación por el aumento de temperatura al momento de cocción (Castro 2007) la cual es una de las más probables causas de la presencia de color amarillo en los tratamientos evaluados. Los tratamientos que presentaron menor valor b son los que tienen menor porcentaje de hígado. Según estudios realizados en pasta picada, el aumento en el valor b obedece al aumento de la proporción de las formas amarillas del pigmento metmioglobina (Benzzo *et al.* 2009).

El R^2 para el valor b encontrado fue de 0.8938 lo cual se demuestra que el 89.38% de los datos fueron predichos por el modelo y que solo 10.62% de los datos no fueron

explicados por el modelo (Cuadro 15), presentado un buen ajuste de modelo lo cual lo convierte en un modelo predictivo en el cual podemos, mediante el establecimiento del modelo matemático, tener una respuesta más acertada al panorama real.

El modelo matemático construido a partir de los efectos lineales y cuadráticos que fueron significativos ($P < 0.05$) en base a los coeficientes obtenidos por el análisis por variables.

Cuadro 15. Análisis de varianza, coeficientes de regresión y R^2 para índice de color con el valor b, en función de % relación riñón:corazón (X_1), % hígado (X_2) y % hielo (X_3) en las formulaciones.

	Valor b
Intercepto	1.17E+01***
X₁	2.75E-01***
X₂	1.91E-01**
X₃	2.32E-02 [‡]
X₁²	-4.49E-01***
X₂²	-1.85E-01**
X₃²	-1.79E-01**
X₁ X₂	-1.09E-01 [‡]
X₁X₃	-7.08E-03 [‡]
X₂ X₃	-5.71E-02 [‡]
R²	0.8938

X₁: relación riñón: corazón (%)

X₂: hígado (%)

X₃: hielo (%)

[‡] No significativo, *** significativo a $P < 0.001$, ** significativo a $P < 0.01$; * significativo a 0.05

La expresión matemática es un modelo cuadrático de segundo orden, determinado entre el valor b de la emulsión y las variables independientes, se expresa de acuerdo a la ecuación 11.

$$\text{Valor b (Y}_5\text{)} = 11.74054 + 0.27514 X_1 + 0.19069 X_2 - 0.44899 X_1^2 - 0.18507 X_2^2 - 0.17918 X_3^2 \quad [11]$$

Se realizó la prueba F con 5% de significancia obteniendo 54.14 de valor F calculado esto al compararse con la F de la tabla 2.96 así al revisar estos valores el F calculado es mayor que el F de la tabla, entonces es posible graficar.

Las figuras expresan el comportamiento con respecto a las diferentes combinaciones de los niveles experimentados, cabe destacar que en esta función el valor de b no es deseable

por lo cual se debe tomar en consideración cuales son las variables que afectan de forma directa el color.

La expresión del color amarillo (Valor b) se ve reflejada en la interacción de las variables relación riñón: corazón e hígado, con lo cual los rangos se mantuvieron entre 50 a 70% y de 26 a 40% respectivamente (Figura 10). Este punto no es deseado, sino que al contrario se busca minimizar al máximo la función en este caso es recomendable revisar la expresión combinada de estas variables, ya que no se quiere que afecten negativamente la calidad visual del producto.

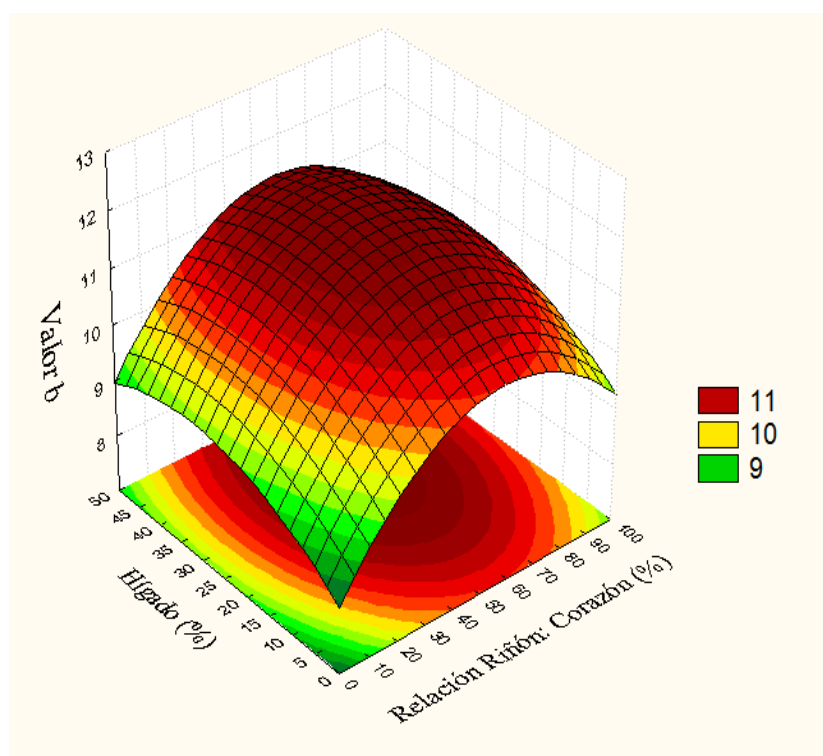


Figura 10. Efecto de dos variables cuantitativas % relación riñón: corazón e hígado en valor b de emulsiones cárnicas a partir de coproductos.

El comportamiento se ve expresado en todas las expresiones gráficas en donde se evidencia que el porcentaje de hielo es indiferente y que lo que causa el tono amarillo de las emulsiones es la proporción de las otras dos variables estudiadas (Figura 11). Se empieza a observar tonalidades amarillas a partir de 40 a 60% de relación riñón: corazón en todos los porcentajes de hielo reportados, lo cual indica que los valores de riñón y corazón usados afectan directamente a la expresión de color amarillo en la matriz aún cuando el porcentaje de hígado se mantiene constante en 25%.

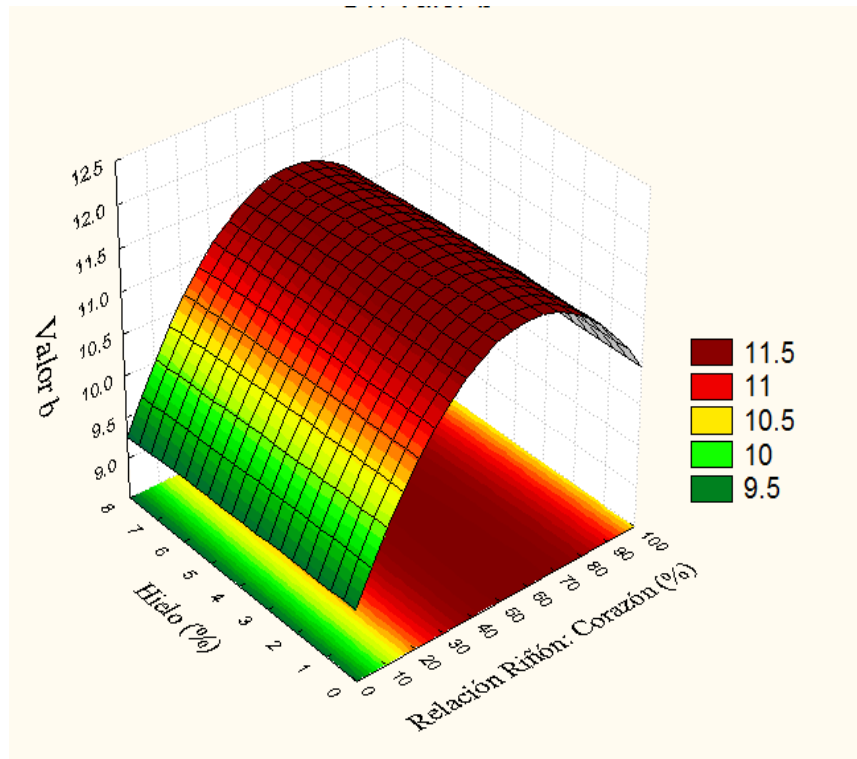


Figura 11. Efecto de las variables cuantitativas % relación riñón: corazón y % hielo en el valor b de emulsiones cárnicas a partir de coproductos.

Otro panorama muestra que la proporción de hígado que causa tonos amarillos se encuentra entre 25 y 40% .

Es importante indicar que al momento de realizar la optimización por función de utilidad se puede realizar una predicción más acertada de acuerdo a las necesidades esto debido a que cuando aumenta la cantidad de variables como hígado y relación riñón: corazón el color amarillo es más notorio, así al optimizar se puede identificar el muestras su expresión óptima de acuerdo a las variables establecidas.

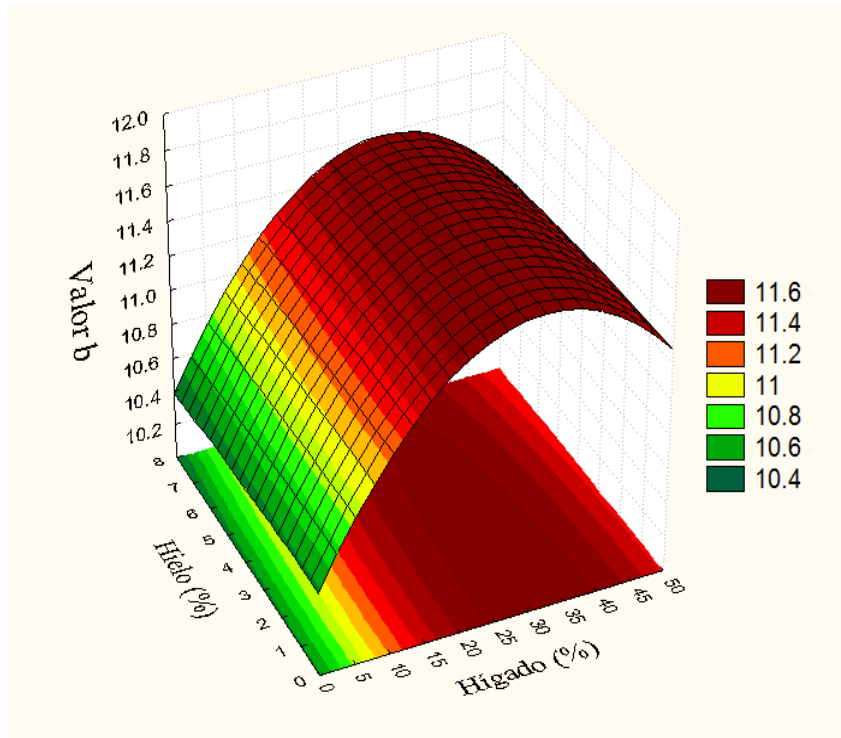


Figura 12. Efecto de las variables cuantitativas % hígado y % hielo en el valor b de emulsiones cárnicas a partir de coproductos.

Función de utilidad. El enfoque de esta función es la optimización de múltiples respuestas, por lo cual es muy usada en la industria. Esta toma en consideración que la calidad de un producto está basado en varios parámetros y que si uno de estos no es alcanzado en su totalidad no se puede aceptar como optimizado afectando la calidad del mismo.

Una función de utilidad en Metodología de Superficie de Respuesta se fundamenta en el método para establecer las condiciones de funcionamiento y proponiendo los valores más cercanos a la respuesta esperada. Estudios realizados en optimización de emulsiones cárnicas con adición de aceite de palma demuestran su eficacia al momento para realizar este procedimiento (Pérez *et al.* 2010).

Así en términos prácticos una función de utilidad ayuda a saber cuál es la combinación de variables independientes que nos permiten optimizar todas las variables respuesta obteniendo así valores predichos que puedan otorgar las características esperadas.

Este es uno de los pasos más importantes para la obtención de una emulsión excelente el cual es uno de los objetivos planteados en este estudio. La función indica que se está maximizando las variables viscosidad (Pa.s), índice de estabilidad, valor L y valor a, y tomando en consideración que la presencia de color amarillo no es un factor deseable, se está minimizando el valor b.

Los valores óptimos reportados para las variables independientes son: 26.72% relación riñón: corazón, 45.16% hígado y 4.8971% de hielo (Figura 13). Obteniendo así las variables respuesta más altas o bajas de acuerdo a lo registrado, cabe destacar que los valores encontrados en esta función de utilidad son relativamente cercanos a los establecidos al inicio del estudio como punto central para las variables, relación riñón: corazón y hielo, no siendo así para la variable hígado la cual registro el nivel más alto en los valores predichos, uno de los principales motivos para el aumento de este tipo de factores como son viscosidad, estabilidad y color.

Función de utilidad para las variables independientes

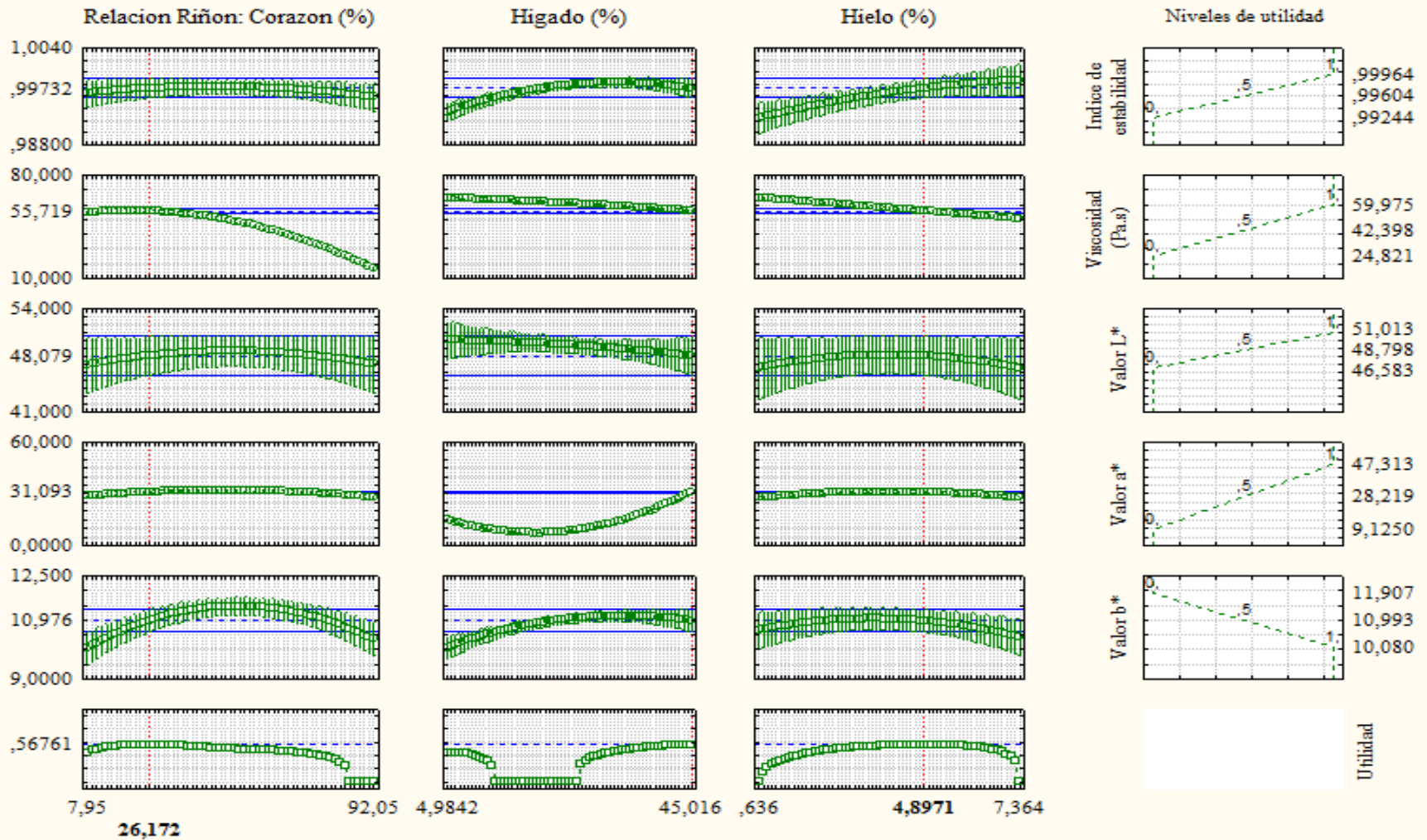


Figura 13. Función de utilidad para optimización de emulsiones cárnicas.

4. CONCLUSIONES

- La viscosidad aumenta cuando la proporción de corazón aumenta en la relación riñón: corazón. Por su parte, la estabilidad alcanza valores óptimos cuando interactúan las variables hígado y relación riñón: corazón cerca del punto central.
- La cantidad de hielo adicionada no causó efectos significativos en las variables evaluadas.
- Los valores L y a solo tuvieron efectos lineales, demostrando que su respuesta depende de la proporción de hígado y relación riñón: corazón, respectivamente.
- Existe efecto cuadrático e interacciones para las variables viscosidad, estabilidad y valor b.
- La función de utilidad, a través del cálculo de las medias geométricas, permitió obtener valores en los cuales todas las variables respuesta fueran optimizadas.

5. RECOMENDACIONES

- Evaluar las propiedades de la adición de la emulsión optimizada como materia prima incorporada en diferentes proporciones a productos cárnicos.
- Utilizar metodología de respuesta para la optimización de procesos en las plantas agroindustriales de Zamorano.

6. LITERATURA CITADA

Álvarez, D., M. Castillo, M.D. Garrido, S. Bañon, G. Nieto, P Díaz y F.A. Payne. 2007. Efecto de la composición y el tiempo de procesado sobre las propiedades tecnológicas y ópticas de las emulsiones cárnicas. Departamento de Biosistemas e Ingeniería Agrícola.

Ambrosiadis, J., K. Varelziz y S. Geurgakis. 1996. Physical, chemical and sensory characteristics of cooked meat emulsion style products containing vegetable oils. *Int. J. Food Sci. Technol.* 31, 189 – 194 p.

Andreo, A., A. O. Garro y M. A. Judis. s.f. Emulsiones cárnicas: influencia de los tratamientos térmicos sobre la oxidación de lípidos. Facultad de agroindustrias – UNNE. Chaco, Argentina. 4p.

AOAC (Association Official Analytical Chemists). *Official Methods of Analysis*. 1997. 16th end, Washington, DC: Association of Official Analytical Chemists. Consultado el 18 de agosto de 2014. Disponible en: <http://www.aoac.org/>

Arslan, S. 2006. Effects of salt and phosphate levels on the emulsion properties of fresh and frozen hen meats. (En línea). *African Journal of Biotechnology* Vol. 5 (10), pp. 1006-1012. Consultado: 18 de septiembre de 2014. Disponible en: <http://www.academicjournals.org/AJB> ISSN 1684–5315. 2006 Academic Journals.

Banda, D. M. 2010. Efecto de la sustitución de grasa animal (cerdo) por grasa vegetal (Danfat FRI- 1333) en la formulación y elaboración de salchichas Frankfurt. Trabajo de Graduación como requisito previo a la obtención del título de Ingeniero en Alimentos otorgado por la Universidad Técnica de Ambato a través de la facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos. Ambato, Ecuador. 123p.

Benítez, B., E. Márquez, Y. Barboza, P. Izquierdo y B. Muñoz. 2000. Formulación y características de productos cárnicos elaborados con subproductos de la industria animal. *Revista científica, FCV-LUZ*. Vol. X. N° 4. Zulia, Venezuela.

Benítez, B., Archile A., Rangel L., Bracho M., Hernández M., Márquez E. 2002. Calidad nutricional y aceptabilidad de un producto formulado con carne de pollo deshuesada mecánicamente, plasma y glóbulos rojos de bovino. *ALAN* Vol. 52 no. 3. Caracas Venezuela. Scielo.

Benítez B., Archile A., Barboza Y., Rangel L., Ferrer K., Bracho M. 2003. Calidad microbiológica de un producto formulado con carne de pollo deshuesada mecánicamente,

plasma y glóbulos rojos de bovino. Vol. XVIII no. 4. Caracas Venezuela. Universidad del Zulia.

Benzio, M. T., A. Zogbi, C. Zubriggen, G. Sequeira, R. Dalla Santina, J. Fernandez-López, J. A. Pérez-Alvarez, F. López-Santoveña y M. R. Rosmini. 2009. Pastas utilizadas en la elaboración de embutidos crudos- curados. Revista FAVE; Ciencias veterinarias 8 (1). España. 12p.

Bhattacharya, S. y S. Priyanka. 2013. Studies on various parameters involved in conjugation of starch with lysine for excellent emulsification properties using response surface methodology.

Box G.E.P. y N.R. Draper 1959. A Basis for the Selection of a Response Surface Design. Journal of the American Statistical Association. vol. 54 No. 287, pp. 622-654.

Castro, J. 2007. Predicción de las Características Físicas y Sensoriales de una Salchicha basada en la Temperatura Final de la Emulsión. Proyecto de Graduación del Programa de Ingeniería en Agroindustria Alimentaria, Zamorano, Honduras. 33p.

De la Vara, P. 1991. Metodología de Superficie de Respuesta: identificación de variables y construcción de modelos. 11p.

Fischer, R., K. Noack y W. Pfeil. 1974. Industrias Cárnicas, Calculando Cortes y Rendimientos. ACRIBIA. Zaragoza, España. 137 Pág.

Friberg, S. E., K. Larson. 1997. Food Emulsions. MerceL Dekker, Inc. New York. EU.

Hamm R. 1960. Bioquímica de hidratación de la carne. Advon. Alimentos. Institutfur Physikund chemie. Kuimbach. República Federal de Alemania.

Hui, Y., J. AalHus, L. Cocolin, I. Guerrero, L. Nollet, R. Purchas, M. Schiling, P. Stanfield y Y. Xiong. 2012. Handbook of meat and meat processing, Second Edition. New York. 978-1-4398-3683-5. 450 – 453 p.

Jaramillo, M. 2009. Efecto de la adición de aceites de canola y soya en las características físicas, químicas y sensoriales en una salchicha frankfurter de pollo reducida en grasa. Proyecto de Graduación del Programa de Ingeniería en Agroindustria, Zamorano, Honduras. 37 p.

Jokanovic, M., V. Tomovic, M. Jovic, B. Sojic, S. Skaljic, T. tasic y P. Ikonic. 2014. Proximate composition and textural properties of cooked sausages formulated from mechanically deboned chicken meat with addition of chicken offal. World academy of science, Engineering and technology. Novi sad, Serbia. International journal of agricultural, biosystems science and engineering 8 (5).

Karakaya, M., H.Y. Gökalp y H. Yetim. 1997. Model system evaluations of meat emulsions prepared with different edible beef by productx and fats and oil. Journal of engineering sciences 3(2): 347-352 p.

Lissant, K. J. 1984. Emulsions and emulsion technology. Vol. VI. Marcel Dekker, Inc. New York. EU.

Magdassi, S. y O. Toledano. 1996. Surface Activity of Proteins: Chemical and Physicochemical Modifications. Capítulo 2: Enhanced Hydrophobicity formation and properties of surface – active proteins. Marcel Dekker, Inc. New York. 39 – 55 p.

Marchetti, L. 2014. Alternativas tecnológicas para el desarrollo de productos cárnicos emulsionados saludables. Tesis Doctoral. CIDCA. Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos. Facultad de Ciencias Exactas. La Plata, Argentina. 278 p.

McClements, DJ. 2005. Food emulsions: principles, practices and techniques. London, New York and Washington D,C. CRC press. 229 - 300 p.

Milan, F.R., M.A. Algarbe y M.S. Tapia. 2003. Uso de la metodología de superficie de respuesta y la programación lineal para el desarrollo de un néctar de mora pasteurizado. Interciencia, vol. 28, num 11. Asociación Interciencia. Venezuela. 646 - 650 p.

Moon, S., C. Jo, D.U. Ahn, S.N. Kang, Y.T.Kim¹ y I.S. Kim. (2012). Meat Products Manufactured with OliveOil, Olive Oil - Constituents, Quality, Health Properties and Bioconversions, Dr. Dimitrios Boskou (Ed.), ISBN: 978-953-307-921-9. (En línea). Consultado: 29 de septiembre de 2014. Disponible en:
<http://www.intechopen.com/books/olive-oil-constituents-qualityhealth-properties-and-bioconversions/effect-of-replacing-animal-fat-with-olive-oil-on-the-quality-for-processedmeat-products>

Moreno. A.E., D.F. Rojas y R.R. Bonilla. 2011. Aplicación de diseños estadísticos secuenciales en la identificación de fuentes nutricionales para azotobacter chroococcum AC1. Revista Corpoica 11(2): 151-158.

Moro, T. 2013. Caracterización físico-química de bioplásticos elaborados por extrusión y Termoconpresión a partir de harina de maracuya (*passiflora edulis sp.*). 2013. Dissertação (Maestría de Tecnología de Alimentos). Instituto de Tecnología, Departamento de Tecnología de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro.

Müller, S.G. y M.A. Ardoíno. 1983. Procesamiento de carnes y embutidos: Elaboración, estandarización y control de calidad. OEA (Organización de Estados Americanos). 212 p.

Norma Técnica Mexicana, NMX-F-317-S-1978.

Ockerman, H.W. y C.L. Hansen. 2000. Animal by-products processing & utilization; Edible meat by products. Florida, Estados Unidos. CRC Press LLC. 268 p.

Oliva, G. y L. Ostría. 2013. Determinación de factores que afectan el consumo de hígado de res entre las poblaciones de empleados de dos universidades hondureñas. Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería de Agroindustria Alimentaria, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. 31 p.

Ospina, S., D. Restrepo y J. López. 2011. Derivados cárnicos como alimentos funcionales. Universidad Nacional de Colombia. Revisión de artículo. 32 p.

Palombo, R. P. Van Roon, G. Wijngaards, y A. Prins. 1989. Kinetic Analysis Of Changes In Lightness Attribute Of Colour During The Processing Of Comminuted Meat Product. Proc. 35th. International Congress Of Meat Science And Technology. Copenhagen, 624-631 P.

Pearce, K. N. y J. E. Kinsella. 1978. Emulsifying properties of proteins: Evaluation of a turbidimetric technique. J. Agric. Food Chem., Vol 26, N° 3. 8p.

Pérez, D., O. Venegas, M. Nuñez y J. Gonzalez. 2010. Utilización de aceite de palma en mortadela. Instituto de investigaciones para la industria alimentaria. La Habana, Cuba. Nacameh Vol. 4, No 1, 11 – 22 p.

Pérez, D. y G. Andújar. 2000. Cambios de coloración de los productos Cárnicos. Instituto de investigación para la industria Alimentaria. Revisión Cubana. Aliment. Nut.

Pérez, J., E. Sanchez, J. Fernández, M. Gago, C. Ruiz, M. Rosmini, M. Pagán, F. López y V. Aranda. 1997. Lomo embuchado: evolution of the physicochemical and color parameters during the salting seasoning stage. J. Muscle Food, 8(4), 395-411.

Rodrigues, M. I y A. F. Lemma. 2012. Diseño experimental y optimización de procesos. Editora Carita. Campinas, Brasil.

Solano Minaya, R.A. 2012. Evaluación físico-químico, microbiológica y sensorial de salchicha a base de pollo con vísceras de cerdo y harina de naranja (*Citrus sinensis*) y maracuyá (*Passiflora edulis*). Proyecto especial de graduación del programa de Ingeniería de Agroindustria Alimentaria, Escuela Agrícola Panamericana, Zamorano, Honduras. 33p.

Tan, S., A. Aminah, Y. Affandi, O. Alil y A. Babji. 2001. Chemical, Physical and sensory properties of chicken frankfurters substituted with palms fats. Int. J. Food Sci. technol. 52, 91-98 p.

Totosaus, A. 2006. Funcionalidad de proteínas musculares. Cuaderno de tecnología. Tecnológico de estudios superiores Ecatepec. Ecatepec, México. (En línea). Consultado: 3 de octubre de 2014. Disponible en:
<http://books.google.hn/books?id=Ighew3dr0HIC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q=poggi&f=false>

UAM (Universidad Autónoma Metropolitana). 2013. Emulsiones. Universidad Autónoma Metropolitana, Facultad de Ciencias. México. (En línea). Consultado: 17 de septiembre de 2014. Disponible en:
http://docencia.izt.uam.mx/ferm/uueea/material_adicional/presentaciones_pdf/EMULSIONES1.pdf

7. ANEXOS

Anexo 1. Valores F calculado $P < 0.05$ para variables índice de estabilidad, viscosidad (Pa.s), Color (L a b).

Fuente de variación					
Estabilidad	SS	GL	SM	F calculado	f tabla
Regresión	0.000093	7	1.33242E-05	94.760672	2.91
Residuos	0.000002	12	1.40609E-07		
	0.000095	19			
Fuente de variación					
viscosidad	SS	GL	SM	F calculado	f tabla
Regresión	5.393482	5	1.078696459	54.142059	2.96
Residuos	0.278928	14	0.019923447		
	5.672411	19			
Fuente de variación					
valor L	SS	GL	SM	F calculado	f tabla
Regresión	5.517502	1	5.517502227	3.7477955	4.41
Residuos	26.499589	18	1.472199382		
	32.017091	19			
Fuente de variación					
valor a	SS	GL	SM	F calculado	f tabla
Regresión	0.748263	1	0.748262624	7.7006368	4.41
Residuos	1.749041	18	0.097168928		
	2.497303	19			
Fuente de variación					
valor b	SS	GL	SM	F calculado	f tabla
Regresión	5.393482	5	1.078696459	54.142059	2.96
Residuos	0.278928	14	0.019923447		
	5.672411	19			

Anexo 2. Tabla de puntos de porcentaje de la distribución F (P < 0.05)

Grados de libertad v2 \ v1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	∞	
1	161,40	199,50	216,70	224,60	230,20	234,00	236,80	238,90	240,50	241,90	243,00	243,80	244,00	244,10	244,10	244,10	244,10	244,10	244,10	244,30
2	18,51	19,00	19,18	19,25	19,30	19,33	19,35	19,37	19,38	19,40	19,41	19,43	19,43	19,45	19,45	19,46	19,47	19,48	19,49	19,50
3	10,13	9,53	9,28	9,12	9,01	8,94	8,89	8,85	8,81	8,79	8,74	8,70	8,68	8,64	8,62	8,59	8,57	8,55	8,53	8,53
4	7,71	6,94	6,59	6,38	6,26	6,16	6,09	6,04	6,00	5,96	5,91	5,86	5,83	5,77	5,75	5,72	5,69	5,68	5,63	5,63
5	6,61	5,79	5,41	5,19	5,05	4,95	4,88	4,82	4,77	4,74	4,68	4,62	4,56	4,53	4,50	4,46	4,43	4,40	4,38	4,38
6	5,99	5,14	4,76	4,53	4,39	4,28	4,21	4,15	4,10	4,06	4,00	3,94	3,87	3,84	3,81	3,77	3,74	3,70	3,67	3,67
7	5,59	4,74	4,35	4,12	3,97	3,87	3,79	3,73	3,68	3,64	3,57	3,51	3,44	3,41	3,38	3,34	3,30	3,27	3,23	3,23
8	5,32	4,46	4,07	3,84	3,69	3,58	3,50	3,44	3,39	3,35	3,28	3,22	3,15	3,12	3,08	3,04	3,01	2,97	2,93	2,93
9	5,12	4,25	3,86	3,63	3,48	3,37	3,29	3,23	3,18	3,14	3,07	3,01	2,94	2,90	2,86	2,83	2,79	2,75	2,71	2,71
10	4,96	4,10	3,71	3,48	3,33	3,22	3,14	3,07	3,02	2,98	2,91	2,85	2,77	2,74	2,70	2,66	2,62	2,58	2,54	2,54
11	4,84	3,98	3,59	3,36	3,20	3,09	3,01	2,95	2,90	2,85	2,79	2,72	2,65	2,61	2,57	2,53	2,49	2,45	2,40	2,40
12	4,75	3,89	3,49	3,26	3,11	3,00	2,91	2,85	2,80	2,75	2,69	2,62	2,54	2,51	2,47	2,43	2,38	2,34	2,30	2,30
13	4,67	3,81	3,41	3,18	3,03	2,92	2,83	2,77	2,71	2,67	2,60	2,53	2,46	2,42	2,38	2,34	2,30	2,25	2,21	2,21
14	4,60	3,74	3,34	3,11	2,96	2,85	2,76	2,70	2,65	2,60	2,53	2,46	2,39	2,35	2,31	2,27	2,22	2,18	2,13	2,13
15	4,54	3,68	3,29	3,06	2,90	2,79	2,71	2,64	2,59	2,54	2,48	2,40	2,33	2,29	2,25	2,20	2,16	2,11	2,07	2,07
16	4,48	3,63	3,24	3,01	2,85	2,74	2,66	2,59	2,54	2,49	2,42	2,35	2,28	2,24	2,19	2,15	2,11	2,06	2,01	2,01
17	4,43	3,58	3,20	2,96	2,81	2,70	2,61	2,55	2,49	2,45	2,38	2,31	2,23	2,19	2,15	2,10	2,06	2,01	1,96	1,96
18	4,41	3,55	3,18	2,93	2,77	2,66	2,58	2,51	2,46	2,41	2,34	2,27	2,19	2,15	2,11	2,06	2,02	1,97	1,92	1,92
19	4,38	3,52	3,13	2,90	2,74	2,63	2,54	2,48	2,42	2,38	2,31	2,23	2,16	2,11	2,07	2,03	1,98	1,93	1,88	1,88
20	4,35	3,49	3,10	2,87	2,71	2,60	2,51	2,45	2,39	2,35	2,28	2,20	2,12	2,08	2,04	1,99	1,95	1,90	1,84	1,84
21	4,32	3,47	3,07	2,84	2,68	2,57	2,48	2,42	2,37	2,32	2,25	2,18	2,10	2,05	2,01	1,96	1,92	1,87	1,81	1,81
22	4,30	3,44	3,05	2,82	2,66	2,55	2,46	2,40	2,34	2,30	2,23	2,15	2,07	2,03	1,98	1,94	1,89	1,84	1,78	1,78
23	4,28	3,42	3,03	2,80	2,64	2,53	2,44	2,37	2,32	2,27	2,20	2,13	2,05	2,01	1,96	1,91	1,86	1,81	1,76	1,76
24	4,26	3,40	3,01	2,78	2,62	2,51	2,42	2,36	2,30	2,25	2,18	2,11	2,03	1,98	1,94	1,89	1,84	1,79	1,73	1,73
25	4,24	3,39	2,99	2,76	2,60	2,49	2,40	2,34	2,28	2,24	2,16	2,09	2,01	1,96	1,92	1,87	1,82	1,77	1,71	1,71
26	4,23	3,37	2,98	2,74	2,58	2,47	2,38	2,32	2,27	2,22	2,15	2,07	1,99	1,95	1,90	1,85	1,80	1,75	1,69	1,69
27	4,21	3,35	2,96	2,73	2,57	2,46	2,37	2,31	2,25	2,20	2,13	2,05	1,97	1,93	1,88	1,84	1,79	1,73	1,67	1,67
28	4,20	3,34	2,95	2,71	2,55	2,45	2,36	2,30	2,24	2,19	2,12	2,04	1,96	1,91	1,87	1,82	1,77	1,71	1,65	1,65
29	4,18	3,33	2,93	2,70	2,54	2,43	2,35	2,28	2,22	2,17	2,10	2,03	1,94	1,90	1,85	1,81	1,75	1,70	1,64	1,64
30	4,17	3,32	2,92	2,69	2,53	2,42	2,33	2,27	2,21	2,16	2,09	2,01	1,93	1,89	1,84	1,79	1,74	1,68	1,62	1,62
40	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,25	2,18	2,12	2,08	2,00	1,92	1,84	1,79	1,74	1,69	1,64	1,58	1,51	1,51
60	4,00	3,15	2,76	2,53	2,37	2,26	2,17	2,10	2,04	1,99	1,92	1,84	1,75	1,70	1,65	1,60	1,53	1,47	1,39	1,39
120	3,92	3,07	2,68	2,45	2,29	2,17	2,09	2,02	1,96	1,91	1,83	1,75	1,66	1,61	1,55	1,50	1,43	1,35	1,25	1,25
∞	3,84	3,00	2,60	2,37	2,21	2,10	2,01	1,94	1,88	1,83	1,75	1,67	1,57	1,52	1,46	1,39	1,32	1,22	1,00	1,00

Fuente: Rodrigues y Lemma 2012