

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



**“EFECTO DE UNA MEZCLA DE HIDROCOLOIDES SOBRE LA
FUERZA DE GEL, SINÉRESIS, COSTOS Y SU APLICACIÓN EN
HOT DOG”**

Presentado por:

RODRIGO ALFREDO ORTIZ CHECA

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

Lima- Perú

2017

DEDICATORIA

Quiero dedicar esta tesis a la familia que cada persona tiene alentándolo a alcanzar sus objetivos y sueños. A mis padres Roberto Ortiz y Regina Checa por enseñarme a afrontar las adversidades con una sonrisa, sin miedos ni derrotismos, con temple y confianza; a mis hermanos Vero, Ursu, Gusi, Rodo, Caro y Cane por alentarme siempre sin cesar y darme toda la confianza de poder salir adelante a pesar de todos los obstáculos que puedan aparecer. A mi esposa Patricia Figueroa, quien es la persona que me hace sentir completo, el pilar que sostiene mi mundo y el amor que alimenta mi alma. A la Familia Figueroa Escudero por su apoyo constante desde un inicio, gracias Sr. Jorge, Sra. Isabel, Ericka y Nathy.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, inmensamente agradecido a mi asesor de tesis, Mg. Sc. Christian R. Encina Zelada, por la orientación y la supervisión continúa en esta investigación, sobre todo por la motivación, el apoyo recibido a lo largo del proceso y por la calidad humana que todo profesor debe manifestarle a sus alumnos, muchas gracias.

Al Ing. Oscar Crisóstomo Gordillo, por ser el guía de mis aventuras académicas, por encausar mis energías en este trabajo y motivarme a seguir el camino de la investigación.

A la Universidad Nacional Agraria La Molina y la Facultad de Industrias Alimentarias de las cuales viviré siempre orgulloso de pertenecer, por darme las herramientas para construir un futuro mejor.

A la empresa Quimtia S.A., en las personas de la Ing. Rocío M. Sarco Baluarte, Ing. Ofelia Carranza Falla, Ing. Eduardo B. Ochoa Lluen y al Ing. E. Álvaro Vargas Bravo por su invaluable apoyo profesional y motivacional.

A los técnicos de laboratorio de la Facultad de Industrias Alimentarias, en especial a la Srta. Yelena, quien con paciencia, esmero y amabilidad brindó su valioso apoyo con el uso de equipos en los laboratorios, muchas gracias.

A Patricia Figueroa, mi esposa, por ser quien constantemente me impulsa a alcanzar mis objetivos sin dejar de lado la felicidad durante todo el proceso, por pintarme el cuadro de cada mañana con una sonrisa y con esa motivación superar cualquier obstáculo.

Finalmente, un agradecimiento muy especial por la comprensión, paciencia y el ánimo recibidos de mi familia Ortiz Checa y Figueroa Escudero, mis amigos y profesores que durante todo este proceso han tenido un aporte invaluable y constante en mi persona desde un plano personal y profesional.

A todos ellos, muchas gracias.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN

SUMMARY

I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Fibras dietarias en productos cárnicos.....	3
2.2. Galactomananos	4
2.3. Carragenina	7
2.3.1. Kappa I carragenato.....	8
2.3.2. Kappa II carragenato	8
2.3.3. Iota carragenato	8
2.3.4. Lambda carragenato	9
2.4. Mecanismo de interacción proteína – carragenina en embutidos	9
2.5. Goma de Tara.....	13
2.6. Goma Guar.....	13
2.7. Goma Konjac	14
2.8. Salchichas tipo emulsión	18
2.9. Carne mecánicamente deshuesada	19
2.10. Diseño de mezcla	22
2.10.1. Marco general	22
2.10.2. Definición	25
2.10.3. Aspectos generales	26
2.10.4. Utilización del método de mínimos cuadrados para la estimación de los coeficientes polinomiales y sus varianzas en el diseño de mezclas: notación matricial	29
2.10.5. Falta de ajuste del modelo estimado	30
2.10.6. Diseños axiales de mezclas.....	31
2.10.7. Restricciones múltiples sobre las proporciones de los componentes	32
2.10.8. Técnica para medir el efecto de componentes en zonas experimentales de mezclas con restricciones sobre los componentes	33
2.10.9. Optimización simultánea de varias respuestas.....	35
2.10.10. Metodología de superficie de respuesta	38
III. MATERIALES Y MÉTODOS	41
3.1. Lugares de ejecución	41

3.2.	Materia prima.....	41
3.2.1.	Insumos para la mezcla de hidrocoloides	41
3.2.2.	Insumos para formulación de un <i>hot dog</i> económico	42
3.3.	Equipos, materiales y reactivos.....	42
3.3.1.	Equipos	42
3.3.2.	Materiales	43
3.4.	Metodología experimental.....	43
3.4.1.	Diseño experimental.....	43
3.5.	Método de análisis.....	47
3.5.1.	Preparación de muestras	47
3.5.2.	Análisis de fuerza de gel.....	47
3.5.3.	Análisis de sinéresis en gel	47
3.5.4.	Elaboración de <i>hot dog</i>	48
3.5.5.	Análisis de la dureza del <i>hot dog</i> mediante TPA.....	48
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	50
4.1.	Fuerza de gel de la mezcla de hidrocoloide.....	50
4.1.1.	Establecimiento del modelo matemático y análisis estadístico	50
4.1.2.	Efecto de los ingredientes sobre la fuerza de gel.....	53
4.2.	Sinéresis de la mezcla de hidrocoloide.....	57
4.2.1.	Establecimiento del modelo matemático y análisis estadístico	57
4.2.2.	Efecto de los ingredientes sobre la sinéresis.....	60
4.3.	Costos de fomulación de la mezcla de hidrocoloides.....	64
4.3.1	Establecimiento del modelo matemático y análisis estadístico	64
4.3.2	Efecto de los ingredientes sobre el costo.....	67
4.4.	Optimización simultánea de variables de respuesta.....	69
4.5.	Validación del punto óptimo de la mezcla de hidrocoloides	73
4.6.	Influencia de la formulación óptima de la mezcla de hidrocoloides sobre la dureza del <i>hot dog</i> económico	74
V.	CONCLUSIONES	76
VI.	RECOMENDACIONES.....	77
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	78
VIII.	ANEXOS	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Aplicaciones de galactomananos en la industria de alimentos	6
Tabla 2: Materias primas, insumos y cantidades empleados para la formulación del <i>hot dog</i> económico	42
Tabla 3: Restricciones sobre los ingredientes de la mezcla total.	44
Tabla 4: Diseño Experimental	45
Tabla 5: Restricciones de las variables respuesta	46
Tabla 6: Resultados de la fuerza de Gel de la mezcla de hidrocoloides en los puntos observados	50
Tabla 7: Resumen de resultados ANVA de la fuerza de gel	51
Tabla 8: Resumen de resultados de la Suma de Errores Cuadrados de la fuerza de gel	52
Tabla 9: Resultados de la sinéresis de la mezcla de hidrocoloides en los puntos observados	57
Tabla 10: Resumen de resultados ANVA de la sinéresis del gel.....	58
Tabla 11: Resumen de resultados de Suma de errores cuadrados de sinéresis del gel	59
Tabla 12: Costos de los hidrocoloides.....	64
Tabla 13: Resultados del costo de la mezcla de hidrocoloides en los puntos observados	64
Tabla 14: Resumen de resultados ANVA del costo de la mezcla.....	66
Tabla 15: Resumen de resultados de la Suma de Errores Cuadrados del costo de la mezcla	66
Tabla 16: Formulación óptima de la mezcla de hidrocoloides	70
Tabla 17: Comparación de resultados obtenidos con el programa <i>Desing Expert 9</i> ® y prueba experimental	73
Tabla 18: Rangos de validación de las variables respuesta en el punto óptimo	73

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Estructura química de los galactomananos β 1,4 y β 1,6.....	5
Figura 2: Estructura química de los galactomananos de galactosa y manosa.....	5
Figura 3: Estructura química de la carragenina	7
Figura 4: Estructura química del Kappa II carragenato	8
Figura 5: Estructura química del Iota carragenato.....	9
Figura 6: Estructura química de la Lambda carragenato.....	9
Figura 7: Estructura química de la Goma de Tara	13
Figura 8: Estructura química de la Goma Guar	14
Figura 9: Estructura química de la Goma Konjac.	15
Figura 10: Sistema coordinado trilineal	26
Figura 11: Ploteo de la función deseabilidad de dos lados	36
Figura 12: Ploteo de la función de deseabilidad de valores de t.....	37
Figura 13: Espacio factorial para tres componentes	39
Figura 14: Etapas del diseño experimental de la investigación.....	44
Figura 15: Diagrama de flujo de elaboración de <i>hot dog</i>.....	48
Figura 16: Ploteo de Contornos de la fuerza de gel de los componentes carragenina (60%), goma konjac, goma guar y goma de tara	53
Figura 17: Superficie de respuesta de la fuerza de gel de los componentes carragenina (60%), goma konjac, goma guar y goma de tara	54
Figura 18: Trazos de COX de la fuerza de gel de los componentes carragenina, goma konjac, goma guar y goma de tara	56
Figura 19: Ploteo de contornos de sinéresis de los componentes carragenina (60.27%), goma konjac, goma guar y goma de tara	60
Figura 20: Superficie de respuesta de sinéresis de los componentes carragenina (60.27%), goma konjac, goma guar y goma de tara	61
Figura 21: Trazos de cox sinéresis de los componentes carragenina, goma konjac, goma guar y goma de tara	63
Figura 22: Ploteo de contornos del costo de la mezcla de los componentes carragenina (60%), goma konjac, goma guar y goma de tara	68
Figura 23: Superficie de respuesta del costo de la mezcla de los componentes carragenina (60%), goma konjac, goma guar y goma de tara	68

Figura 24: Trazos de cox del costo de los componentes carragenina, goma konjac, goma guar y goma de tara.	69
Figura 25: Deseabilidad y punto óptimo de los componentes carragenina (65.91%), goma konjac, goma guar y goma de tara	71
Figura 26: Fuerza de gel y punto óptimo de los componentes carragenina (65.91%), goma konjac, goma guar y goma de tara	71
Figura 27: Sinéresis y punto óptimo de los componentes carragenina (65.91%), goma konjac, goma guar y goma de tara	72
Figura 28: Costo y punto óptimo de los componentes carragenina (65.91%), goma konjac, goma guar y goma de tara.	72
Figura 29: Resultados de la dureza del <i>hot dog</i> de formulación económica con diferentes porcentajes de aplicación de la mezcla óptima	74

INDICE DE ANEXOS

ANEXO 1: TRAZOS DE COX RANGE IN DE FUERZA DE GEL.	81
ANEXO 2: GRÁFICA DE DOS COMPONENTES EN LA MEZCLA EN LA EVALUACIÓN DE FUERZA DE GEL, CARRAGENINA Y GUAR.	82
ANEXO 3: GRÁFICA DE DOS COMPONENTES EN LA MEZCLA EN LA EVALUACIÓN DE FUERZA DE GEL, CARRAGENINA Y TARA.....	83
ANEXO 4: GRÁFICA DE DOS COMPONENTES EN LA MEZCLA EN LA EVALUACIÓN DE FUERZA DE GEL, GUAR Y KONJAC.	84
ANEXO 5: GRÁFICA DE DOS COMPONENTES EN LA MEZCLA EN LA EVALUACIÓN DE FUERZA DE GEL, CARRAGENINA Y KONJAC.....	85
ANEXO 6: TRAZOS DE COX RANGE IN DE SINÉRESIS.....	86
ANEXO 7: GRÁFICA DE DOS COMPONENTES EN LA MEZCLA EN LA EVALUACIÓN DE SINÉRESIS, CARRAGENINA Y GUAR.....	87
ANEXO 8: GRÁFICA DE DOS COMPONENTES EN LA MEZCLA EN LA EVALUACIÓN DE SINÉRESIS, CARRAGENINA Y TARA.	88
ANEXO 9: GRÁFICA DE DOS COMPONENTES EN LA MEZCLA EN LA EVALUACIÓN DE SINÉRESIS, CARRAGENINA Y KONJAC.	89
ANEXO 10: TRAZOS DE COX RANGE IN DE COSTOS.....	90
ANEXO 11: GRÁFICO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA DE LA DESEABILIDAD.	91
ANEXO 12: RESULTADOS DE LA DUREZA EN LA APLICACIÓN DE <i>HOT DOG</i> ECONÓMICO.	92
ANEXO 13: PRUEBA ESTADÍSTICA DE TUCKEY PARA LOS RESULTADOS DE DUREZA DEL <i>HOT DOG</i> ECONÓMICO.	93
ANEXO 14: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA CARRGANINA SEMIREFINADA.....	94
ANEXO 15: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA GOMA KONJAC.....	95
ANEXO 16: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA GOMA GUAR.	96
ANEXO 17: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA GOMA TARA.....	97

RESUMEN

Este trabajo de investigación tuvo como finalidad determinar el efecto de la mezcla de hidrocoloides en: fuerza de gel, sinéresis y costo del gel formado, aplicando el método de diseño de mezclas para obtener la mezcla óptima que maximice la fuerza de gel y minimice la sinéresis y el costo, para que dicha mezcla óptima se aplique como aditivo en formulaciones de *hot dogs* económicos. Primero, se aplicó el diseño de mezclas de 10 puntos experimentales, 5 puntos para la evaluación de la suficiencia de ajuste del modelo matemático y 5 puntos repetidos. Se determinó dentro del universo de posibilidades de mezclas en un triángulo simplex los puntos que definieron las formulaciones experimentales, en donde se evaluó las variables respuesta fuerza de gel, sinéresis y costos para cada formulación; considerando las restricciones de composición de la mezcla como: carragenina: 60 - 80 por ciento, goma guar: 0 - 40 por ciento, goma tara: 0 - 40 por ciento, goma konjac 0 - 40 por ciento. Se estimaron los modelos polinomiales canónicos de Scheffé que fueron validados estadísticamente, evaluándose la influencia de cada componente sobre las variables respuesta; utilizando los "Trazos de Cox". Segundo, se optimizaron las variables respuesta utilizando el criterio de deseabilidad global a partir de la zona de formulación factible de los modelos estimados, encontrándose una formulación óptima que indicó 65.91 por ciento de carragenina y 34.09 por ciento de konjac; con una fuerza de gel de 1319 gf, sinéresis de 13.33 g y un costo de USD 8.43. Finalmente se aplicó la mezcla óptima de hidrocoloides a una formulación de *hot dog* económico para evaluar la influencia que tiene en la dureza del producto terminado y los resultados indicaron que a niveles de 0.5 por ciento y 1.0 por ciento mejora la dureza del *hot dog*.

Palabra clave: Fuerza de gel, sinéresis, carragenina; guar; tara; konjac.

SUMMARY

This research has as main objective to establish the effect of hydrocolloids blending on gel strength, syneresis and formulation cost, applying a blending design method to reach an optimized blend with a gel strength maximization and minimizing syneresis and costs. This optimized blending will be an additive to apply in low-cost hot dogs formulations. First, ten experimental points were applied in the blending design; five points were intended to test the adequacy of the mathematical model of adjustment sufficiency and other five were repeated points. The experimental points were determined by experimental formulas located within the universe of possibilities established in the simplex triangle, by means of which it was evaluated gel strength response, syneresis and blending costs. Restrictions were applied to this blend in accordance with the following composition: carrageenan: 60 to 80 per cent, guar gum 0 to 40 per cent, tara gum 0 to 40 per cent and kojac gum 0 to 40 per cent. Scheffe cannonic models were also calculated for this mixture, which in turn were statistically validated by evaluating the influence of each component upon the response variables through the so called "Trazos de Cox" graphics. In the second stage, the global desirability criteria was applied in order to optimize the response variables; as a result, the best blend was achieved with 65 per cent of carrageenan and 34.09 per cent of konjac; with a gel strength of 1319 gf, syneresis of 13.33 g and a cost of USD 8.43. Having as goal the assessment of the influence on the hardness, the balanced formula of hydrocolloids was applied to a low cost *hot dog* the results indicate that the application of the balanced blend of hydrocolloids at 0.5 per cent and 1.0 per cent levels improves the *hot dog* hardness as finished product.

Keyword: Gel strength, syneresis, carrageenan; guar; tara; konjac.

I. INTRODUCCIÓN

Las propiedades sensoriales, tales como gusto y textura, son importantes para la aceptación del consumidor, la elección del producto alimenticio y consecuentemente, el fabricante. Por lo tanto, varios estudios son conducidos para la optimización y mejora de estas características en varios productos (Tavares *et al.* 2011).

La industria cárnica en la actualidad incorpora en sus diversas formulaciones mezclas de hidrocoloides a fin de mejorar las características físicas, reológicas y de textura en sus productos. La textura se define como todos los atributos mecánicos, geométricos y superficiales de un producto perceptibles por medio de receptores mecánicos, táctiles, y si es apropiado, visuales y auditivos. Evidentemente, la textura de un alimento trata de la percepción, haciéndola por encima de todas las cosas una experiencia humana (Rosenthal 2001).

Los hidrocoloides, gracias a sus propiedades texturales, se utilizan para formular gran variedad de alimentos permitiendo el desarrollo de nuevos productos y la optimización de costos, convirtiéndose en un aditivo de relevante interés en la industria; lo que a su vez beneficia al consumidor ya que puede encontrar en el mercado una amplia variedad de productos con diferentes texturas y precios diversos.

Algunos hidrocoloides tienen la propiedad de gelificar, según Cubero *et al.* (2002), existen dos motivos tecnológicos principales por los que nos interesa conocer las características reológicas de los geles:

- Para conocer las condiciones de aplicación: la mayoría de los hidrocoloides se adicionan en disoluciones o dispersiones, por lo que las propiedades de fluidez, viscosidad, etc. del flujo definirán las condiciones de manipulación previa, de

incorporación y comportamiento durante todo el proceso de elaboración del mismo.

- Para conocer las características que le conferirá al producto acabado: Cuando encontramos un hidocoloide como ingrediente de un alimento, la textura final de este se verá condicionada por las características estructurales que el hidocoloide aporte.

Las salchichas (*hot dogs, frankfurters*) son populares entre los consumidores y muy vendidas en muchos países. Desde el punto de vista de la producción existe una gran variedad de precios entre la carne como materia prima así como de sus ingredientes. Escogiendo la combinación óptima de las materias primas e ingredientes disponibles mientras se mantenga aún la alta calidad del producto, los costos de producción pueden ser reducidos (Dingstad *et al.* 2005).

Es por ello que en la presente investigación se encontró una mezcla óptima de hidrocoloides para la formulación de un *hot dog* económico, tomando en cuenta las características del producto gelificado y evidenciando las características texturales que aporta la mezcla de hidrocoloides al producto terminado.

La industria de embutidos tiene una amplia variedad de aplicaciones de hidrocoloides en sus diversas formulaciones, donde se define como un buen hidocoloide o agente gelificante a aquel que presenta una fuerza de gel y sinéresis adecuadas para el producto terminado. En la actualidad, el mercado de aditivos ofrece diferentes mezclas de hidrocoloides basados en carrageninas para la formulación de embutidos, en ese sentido se desarrolló la siguiente investigación, con los siguientes objetivos:

- Objetivo general: Determinar el efecto de una mezcla de hidrocoloides sobre la fuerza de gel, sinéresis y costos y su aplicación en *hot dog*.
- Objetivos específicos: Establecer una mezcla de hidrocoloides que maximice la fuerza de gel y minimice la sinéresis y el costo; y aplicar la mezcla óptima de hidrocoloides en la elaboración de un *hot dog*.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. FIBRAS DIETARIAS EN PRODUCTOS CÁRNICOS

Numerosos investigadores están trabajando para optimizar la composición de los productos cárnicos en función a alcanzar una composición que se ajuste mejor a los objetivos de ingesta de nutrientes. Hay varias posibles estrategias para desarrollar carnes y productos cárnicos más saludables, incluyendo productos funcionales. Una de las más importantes de estas estrategias es diseñar alimentos que reduzcan algún compuesto que no sea saludable (grasa o sodio) y promueva la presencia de compuestos saludables (Cofrades *et al.* 2008).

Según Cofrades *et al.* (2008), por el lado tecnológico, las fibras son usadas como agente texturizante y de volumen, particularmente en alimentos de baja calorías; estas propiedades dependen principalmente de la capacidad de las fibras para retener el agua. Además Cofrades *et al.* (2008) indican que las fibras dietarias de diferentes fuentes han sido estudiadas de manera individual y en combinación con otros ingredientes para la formulación de diferentes productos cárnicos (productos molidos/reestructurados y emulsiones cárnicas) con la mira de incrementar el rendimiento de cocción gracias a sus propiedades de retención de agua y grasa, mejorando la textura y reduciendo los costos de formulación.

Cofrades *et al.* (2008) también mencionan que en un sistema gel/emulsión, bajas concentraciones de NaCl implica una menor proteína solubilizada, y por tanto puede haber una insuficiente agregación proteica como para formar una red proteica fuerte. Las fibras dietarias de diferentes fuentes han sido estudiadas de manera individual y en combinación con otros ingredientes para la formulación de diferentes productos cárnicos, con la mira, entre otras cosas, de mejorar la textura. Los mismos autores también indicaron que reportes de hallazgos han sido contradictorios por varias razones, pero ha sido generalmente encontrado que la adición de diferentes tipos de fibra a las emulsiones cárnicas cocidas aumentan su dureza.

Para Cofrades *et al.* (2008), la adición de fibras dietarias a los alimentos modifica la textura y la estabilidad en formas determinadas por las condiciones de proceso, pero los mecanismos difieren dependiendo de la solubilidad de las fibras. Las fibras insolubles pueden influenciar en la textura de los productos cárnicos gracias a su capacidad de retención de agua y de hincharse. Las fibras insolubles pueden mejorar la consistencia de los productos cárnicos a través de la formación de una red tridimensional insoluble capaz de modificar las características tecnológicas de la fase continua de la emulsión (Cofrades *et al.* 2008)

Una red tridimensional insoluble completamente distribuida tiene mayor probabilidad de interactuar con el medio, en este caso, componentes cárnicos. Este mecanismo puede ayudar a estabilizar la estructura del gel/emulsión mediante la modificación de sus propiedades reológicas de la fase continua. Esto favorece a la formación de un gel matriz proteico más rígido con una mejor capacidad de retención de agua y grasa (Cofrades *et al.* 2008).

2.2. GALACTOMANANOS

Los galactomananos son polisacáridos que están presentes en las paredes celulares de los tejidos de almacenamiento de las semillas (como el endosperma, cotiledones) y hacen parte del grupo de los polisacáridos de almacenamiento; la función de estos es ser la reserva de las raciones de supervivencia que permite que el embrión recién germinado se desarrolle rápidamente hasta el punto donde una existencia totalmente autótrofa sea establecida; esto es posible porque en las semillas, el galactomanano es catabolizado y los monosacáridos liberados se utilizan durante el desarrollo de la plántula, este proceso ocurre después de un agotamiento sustancial de los oligosacáridos presentes; además el galactomanano junto con otros polisacáridos (como la celulosa) , aporta dureza a las semillas (Bolívar 2009). El galactomanano hace parte de un grupo de polisacáridos basados sobre un esqueleto de cadenas enlazadas de β -(1-4) manano, en el cual, se encuentran además el manano, glucomanano y galactoglucomanano (Bolívar 2009). Su estructura se detalla en la Figura 1.

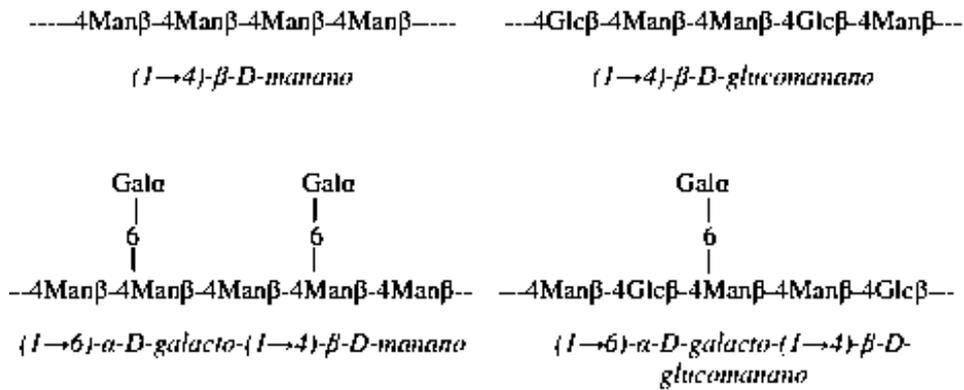


Figura 1: Estructura química de los galactomananos β 1,4 y β 1,6.

FUENTE: Tomado de Bolívar 2009.

Los galactomananos se obtienen de las semillas de distintas leguminosas; están formados por una cadena de manosas unidas entre sí por enlaces β (1,4), en la mayoría de los casos ramificaciones formadas por unidades de galactosa unidas a las manosas por un enlace alfa (1,6), como se ve en las Figuras 1 y 2. Dependiendo del vegetal del que se extraigan, los galactomananos tienen distintos grados de ramificación y esto influye sobre sus propiedades físico-químicas (Bolívar 2009).

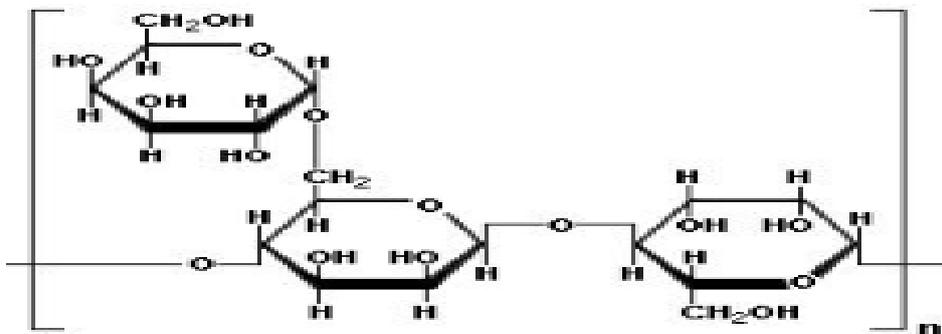


Figura 2: Estructura química de los galactomananos de galactosa y manosa.

FUENTE: Tomado de Bolívar 2009.

Los galactomananos se encuentran en varias gomas vegetales que se usan para aumentar la viscosidad de los productos alimenticios, entre las cuales se tienen: la goma de alholva (*Trigonella foenum-graecum*), cual posee una relación de manosa : galactosa de 1:1; la goma guar (*Cyamopsis tetragonoloba*), con una relación de manosa : galactosa 2:1; la goma tara

(*Caesalpinia spinosa*), con una relación de manosa galactosa 3:1 y la goma de algarrobo o garrofín (*Ceratonia siliqua*), con una relación de manosa galactosa 4:1. La solubilidad del galactomanano depende mucho del contenido de galactosa, y de su distribución, por ejemplo, el galactomanano del sago (*Metroxylon amicarum*) es totalmente insoluble en agua, y no tiene aplicaciones alimentarias. Por el contrario, la goma de alholva es la más soluble de todas debido a su alto contenido de galactosa, la goma guar es soluble en agua fría y para disolver la goma de algarrobo es necesario calentar al menos hasta los 80 °C (Bolívar 2009).

El galactomanano es el principal polímero usado en la industria, en partículas el proveniente de aquellas fuentes en las cuales la sustitución por galactosa es relativamente baja, como en el caso del algarrobo y de la goma guar. Las propiedades utilizadas son la muy alta viscosidad, la cual reducida a bajas concentraciones y la capacidad de formar geles en asociación con otros polisacáridos como la agarosa y el xanthan. Se usa en alimentos como un espesante y estabilizante; para dispersamiento de la pulpa; engomado y acabado en la producción de papel; en floculación, filtración y flotación de minerales; en engomado de textiles; para geles explosivos y en la estabilización de herbicidas y fungicidas líquidos. Adicionados a la harina este cambia las propiedades de horneado del pan. Los glucomananos y los galactomananos son usados para adicionar fibra a la dieta (Bolívar 2009).

Se utiliza principalmente en la industria de alimentos, donde es conocido como un polisacárido alimenticio, debido a que contribuye significativamente a la ingesta de fibra y además es obtenido desde semillas en una forma relativamente pura; es usado en la industria alimenticia como ingrediente, usualmente como espesante o estabilizante; en el Tabla 1 se observan algunas aplicaciones de los galactomananos en la industria de alimentos (Bolívar 2009).

Tabla 1: Aplicaciones de galactomananos en la industria de alimentos

Alimento	Función y aplicación
Productos lácteos	Espesante para crema y postres de leche, estabilizantes en sorbetes y helados; en el queso procesado para retener humedad; como sustitutos de grasa.
Productos para diabéticos	Formulaciones de leches para bebés.

«continuación»

Productos para panadería	Cubiertas y batidos para tortas.
Productos en polvo	Postres y pudines en leche caliente.
Productos como gelatinas y postres	Solubilizar en agua caliente.
Condimentos	Salsa y almíbar.
Carnes crudas	Congelar y enlatar.
Bebidas	Espesantes

FUENTE: Tomado de Bolívar. 2009.

2.3. CARRAGENINA

El carragenato es un hidocoloide con propiedades gelificantes extremadamente marcadas. Se obtiene a partir de las algas rojas. Los carragenatos son polímeros de galactosa más o menos sulfatados. Su solubilidad aumenta cuanto más sulfatados están. Las moléculas que componen los carragenatos son básicamente dos: D-galactosa y 3,6-anhidro-D-galactosa (AG) (Cubero *et al.* 2002), tal como se muestra en la Figura 3.

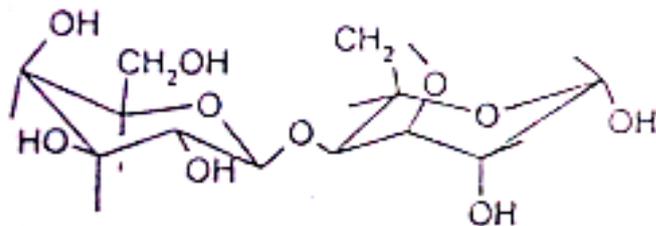


Figura 3: Estructura química de la carragenina.

FUENTE: Tomado de Cubero *et al.* 2002.

Las algas rojas producen, a grandes rasgos, tres tipos diferentes de carragenato: kappa, iota y lambda. La mayoría de productos comerciales de carragenato constituyen en una mezcla de los tres, aunque normalmente predomina uno de los tipos y se vende como tal (Cubero *et al.* 2002).

2.3.1. KAPPA I CARRAGENATO

Contenido entre 24 – 25 por ciento de éster sulfato y 34 – 36 por ciento de 3,6 AG. Forma geles firmes y quebradizos en agua y leche. Presenta alta sinéresis. Tiene buena capacidad de retención de agua. Soluble en caliente a partir de los 80-85 °C, a menos temperatura la solubilización no es total (Cubero *et al.* 2002).

2.3.2. KAPPA II CARREGNATO

Su contenido varía entre 24 – 26 por ciento de éster sulfato y entre 32 – 34 por ciento de 3,6 AG. Forma geles firmes y elástico en agua y leche. Presenta algo de sinéresis y alta reactividad en leche y presenta una solubilidad en el mismo rango de temperatura que el anterior (Cubero *et al.* 2002). Su estructura se presenta en la Figura 4.

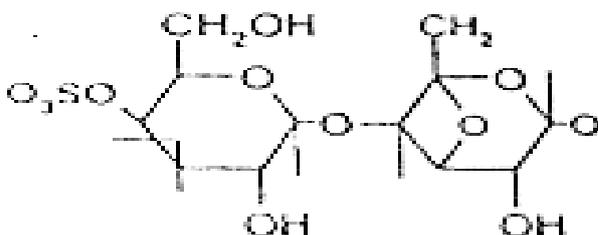


Figura 4: Estructura química del Kappa II carragenato.

FUENTE: Tomado de Cubero *et al.* 2002.

2.3.3. IOTA CARRAGENATO

En este caso se encuentra un contenido entre 30 – 32 por ciento de éster sulfato y 28 – 32 por ciento de 3,6AG. Forma geles elásticos en agua y leche con baja sinéresis. Buena estabilidad a ciclos de congelación y descongelación. Soluble en caliente sobre los 55 °C (Cubero *et al.* 2002). Su estructura se presenta en la Figura 5.

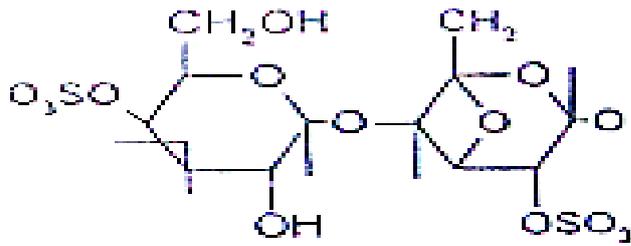


Figura 5: Estructura química del Iota carragenato.

FUENTE: Tomado de Cubero *et al.* 2002.

2.3.4. LAMBDA CARRAGENATO

El contenido de éster sulfato aumenta hasta una proporción del 35 por ciento y casi no se encuentra 3,6 AG, por esta razón no gelifica y debido a su alto grado de sulfatación es el tipo de carragenato más soluble en agua y leche fría, dando alta viscosidad al medio (Cubero *et al.* 2002). Su estructura se presenta en la Figura 6.

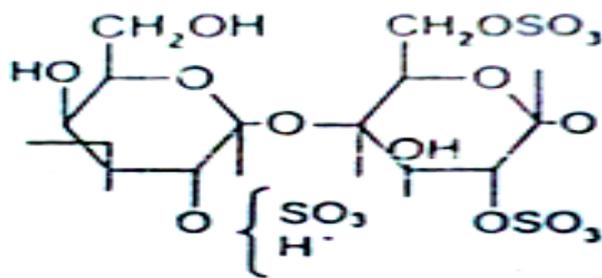


Figura 6: Estructura química de la Lambda carragenato.

FUENTE: Tomado de Cubero *et al.* 2002.

2.4. MECANISMO DE INTERACCIÓN PROTEINA – CARRAGENINA EN EMBUTIDOS

La interacción proteína-polisacárido juega un rol importante en la estructura y estabilidad de varios alimentos procesados. Las propiedades funcionales de las proteínas alimenticias, tal como la solubilidad, formación de gel y capacidad emulsificante son afectadas por su

interacción con polisacáridos. En el caso de productos cárnicos formulados y cocidos las proteínas miofibrilares juegan un rol clave en durante el procesamiento por su capacidad de formar geles tridimensionales luego de su calentamiento y subsecuente enfriamiento, el cual tiene una significativa influencia sobre lo sensorial, y las propiedades texturales de los productos procesados. En la literatura la interacción polisacárido-proteína está bien documentada en proteínas no cárnicas (huevo, leche...). Sin embargo, más estudios son necesarios para entender la interacción de las proteínas cárnicas con hidrocoloides en función de alcanzar características deseadas en la formulación de productos cárnicos. Varios ingredientes funcionales capaces de mejorar las propiedades de retención de agua y modificación de textura, son de interés para los procesadores de carnes. Los hidrocoloides con sus características únicas son de gran interés para los procesadores de carne debido a sus propiedades de retención de agua y de formación de geles. Uno de los más interesantes hidrocoloides de la industria cárnica es la carragenina. Este hidrocoloide es un polisacárido lineal sulfatado, extraído de algas rojas. Es ampliamente usado en la industria de alimentos por su amplio rango de aplicaciones como sus propiedades de retención de agua, espesantes y gelificantes. En la industria cárnica, la carragenina es usada como agente gelificante en carnes enlatadas y alimento para mascotas y ello permite una reducción del contenido de grasa en productos cárnicos triturados como *frankfurters*. En productos cárnicos rebanados la carragenina es usada para mejorar la retención de humedad, rendimientos de cocción, propiedades de corte, sensación bucal y jugosidad (Ayadi *et al.* 2009).

Según Ayadi *et al.* (2009), el efecto de la adición de la carragenina sobre las propiedades funcionales de la formulación de productos cárnicos ha sido sujeto de numerosos estudios; en ellos se encontraron que la carragenina causó un incremento en el rendimiento, facilidad de corte y rigidez y una reducción del jugo exprimible en pechuga de pavo asada. En salchichas de desayuno, también se encontró que la dureza de la masa cárnica cuando se reemplaza grasa por una solución de agua-carragenina, la carragenina mejora significativamente la capacidad de retención de agua. Ayadi *et al.* (2009), hace mención a estudios que reportaron un incremento en la fuerza de gel y la retención de agua cuando se añade carragenina a los geles de proteína de carne solubles en sal. Así como también hay estudios que reportaron que la carragenina aumentó el rendimiento de cocción, dureza y la fuerza de enlace en salchichas bajas en grasa. En otra investigación mencionada por Ayadi *et al.* (2009), observaron un incremento en el rendimiento de cocción, dureza y otros

parámetros del perfil de textura mediante la adición de carragenina mayor a un 2 por ciento a bolas de carne de baja grasa emulsionadas.

Para Ayadi *et al.* (2009), el tiempo de almacenamiento causa una ligera reducción en la dureza de la salchicha para todas las concentraciones de carragenina. Sin embargo, se muestra que la variación de carragenina de 0 por ciento a 0.5 por ciento no tiene un efecto significativo sobre la dureza de la salchicha. Por otro lado, cuando la concentración de carragenina alcanza el 0.8 por ciento y 1.5 por ciento un aumento significativo en la dureza de la salchicha es observado. Incluso, la dureza de la salchicha aumenta cuando la concentración de carragenina va de 0.5 por ciento a 0.8 por ciento.

Ayadi *et al.* (2009) mencionan que el tiempo de almacenamiento no afecta la cohesividad. Sin embargo se observó un efecto significativo respecto a la concentración de carragenina. En efecto, la cohesividad de la salchicha va en aumento continuamente conforme aumenta la concentración de carragenina, excepto a la concentración de 1.5 por ciento donde la cohesividad decrece ligeramente. Ayadi *et al.* (2009) también indican que la evolución de la elasticidad conforme a la concentración de carragenina muestra que la elasticidad aumenta hasta una concentración de carragenina de 0.5 por ciento. Concentraciones mayores a este valor resultan en una significativa reducción en la elasticidad de las salchichas. Según Ayadi *et al.* (2009), la masticabilidad aumenta conforme aumenta la concentración de carragenina y decrece conforme aumentas los días de almacenamiento. Todos estos cambios en la textura pueden ser explicados en términos de la influencia de la presencia de la carragenina sobre el proceso de gelificación de las proteínas. La interacción carragenina-proteínas musculares lleva a un cambio en la textura y microestructura de las salchichas formuladas (Ayadi *et al.* 2009).

Para estudiar la interacción entre las proteínas musculares y las moléculas de carragenina durante la gelificación, se usó un escaneo microscópico electrónico. Muestra que las proteínas cárnicas forman una red de gel tridimensional compacta. Se muestra que a 0.2 por ciento (baja concentración), la carragenina se encuentra presenta en regiones discretas, excluyendo la posibilidad de que forme una red de gel continua y siguiere que la carragenina en espacios intersticiales del gel proteico formado, lo que causa una reducción de la compactación de la red de gel proteico (Ayadi *et al.* 2009).

Ayadi *et al.* (2009) muestran que a una concentración de carragenina de 0.8 por ciento aparece una red de gel de carragenina continua y a 1.5 por ciento esta red de carragenina continua está formada por el desarrollo de conexiones con la existente red de gel proteico. Tal cambio en la microestructura puede explicar el cambio de la capacidad de retención de agua y de los parámetros texturales. A bajas concentraciones de carragenina, una reducción en la compactación de la red de gel proteico permite un mayor enlace con agua. A altas concentraciones de carragenina (1.5%) la presencia de carragenina adicional aumenta la capacidad de retención de agua.

Según Ayadi (2009), un aumento significativo en la dureza de salchichas fue observado a altos niveles de carragenina añadidos (0.8% y 1.5%). Este aumento en la dureza puede ser el resultado de la red de gel adicional de la carragenina. La variación de la elasticidad con la concentración de carragenina muestra dos fases. De 0 por ciento a 0.5 por ciento la elasticidad aumenta progresivamente hasta alcanzar un valor máximo al 0.5 por ciento. A mayores concentraciones, una reducción significativa en la elasticidad de las salchichas es observada. Esto puede ser explicado considerando la reducción del compactamiento de la red de gel proteico el cual lleva a una estructura más elástica y aireada. A mayores concentraciones (0.8% y 1.5%) la presencia de una segunda red de gel lleva a una mayor compactación y estructuras menos aireadas lo cual causa una reducción de la elasticidad.

Ayadi *et al.* (2009) muestran que la adición de carragenina reduce la estabilidad de la emulsión y aumenta la capacidad de retención de agua. Además, la adición de carragenina causa un cambio significativo en la textura y microestructura de la salchicha. El aumento de la concentración de carragenina lleva a una salchicha más dura y cohesiva. La adición de carragenina a niveles bajos (2% y 0.5%) aumenta la elasticidad del gel. Sin embargo, a niveles altos (0.8% y 1.5%) la adición de carragenina causa una reducción de la elasticidad. Las observaciones de la microestructura muestran que el aumento de los niveles de carragenina en las formulaciones de salchicha lleva a la aparición de una red de gel de carragenina adicional. Análisis sensoriales muestran que la presencia de la carragenina no tiene un efecto significativo sobre el gusto. Sin embargo, el aspecto de la salchicha y su textura es marcadamente superior.

2.5. GOMA DE TARA

La goma de tara es un hidocoloide derivado del endospermo de la semilla de Tara (*Cesalpinia spinosum*, algarrobo de Sudamérica). Al igual que la goma de garrofín y la goma de guar, es un galactomanano que consiste en una cadena principal de manosa con cadenas laterales de galactosa en proporción 3:1. Aunque se disuelve bastante bien en agua fría su máxima hidratación se obtiene en caliente (Cubero *et al.* 2002). Su estructura se presenta en la Figura 7.

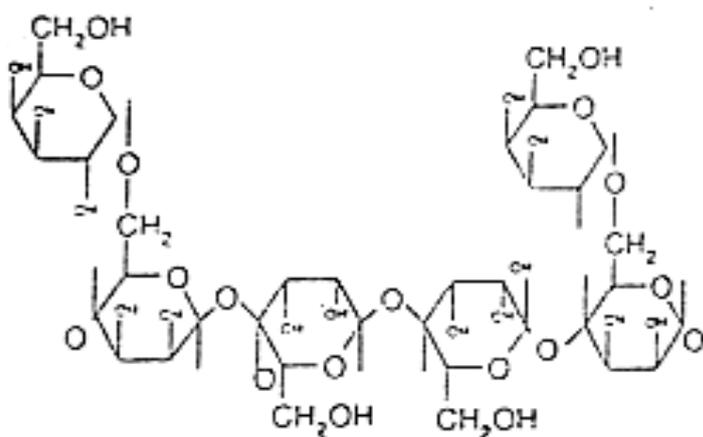


Figura 7: Estructura química de la Goma de Tara.

FUENTE: Tomado de Cubero *et al.* 2002.

Su comportamiento es más similar a la goma de garrofín que a la goma de guar, impartiendo viscosidad al medio donde se aplique; aparte de otras funciones como la de evitar la formación de cristales de hielo durante la congelación y mantener una buena resistencia al choque térmico. Carece de reactividad con las proteínas lácteas (Cubero *et al.* 2002).

2.6. GOMA GUAR

Procede del endosperma de las semillas de guar, planta que crece principalmente en India y Pakistán, pertenece a la familia de leguminosas.

La goma guar es un galactomanano que consiste en una cadena de manosa ramificada con unidades de galactosa en proporción de 2:1, tal como se muestra en la Figura 8. Estas ramificaciones permiten la separación de las cadenas principales y, por consiguiente, su hidratación. Como consecuencia de su elevada afinidad con el agua la goma de guar proporciona una altísima viscosidad en sistemas acuosos y lácticos, incluso a dosis bajas, presentando un comportamiento pseudoplástico (Cubero *et al.* 2002).

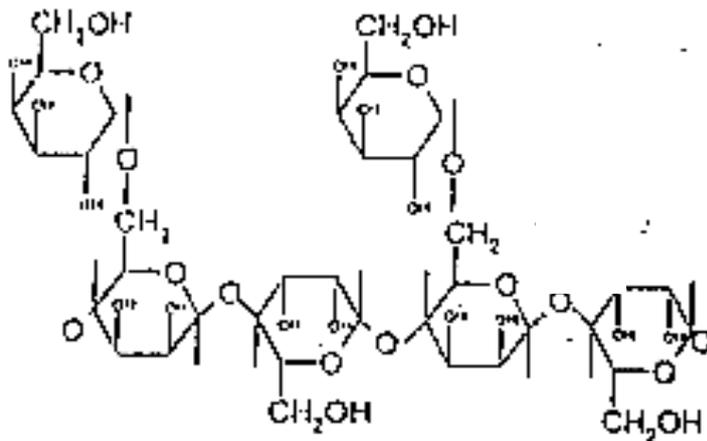


Figura 8: Estructura química de la Goma Guar.

FUENTE: Tomado de Cubero *et al.* 2002.

La goma guar se utiliza principalmente como agente espesante con viscosidad en función de la temperatura. Puede usarse en una amplia gama de productos, ya que permanece estable en un rango de pH entre 3 – 11. Presenta la ventaja de ser soluble al frío. Al calentarse, si los tratamientos térmicos son fuertes, pierde en parte su viscosidad. Es poco sensible a los efectos mecánicos y tiene buena resistencia a los ciclos de congelación y descongelación. Presenta muy buena estabilidad cuando los productos se almacenan a temperatura ambiente (Cubero *et al.* 2002).

2.7. GOMA KONJAC

Adisak (2002) indica que hay varias especies de plantas de konjac en el este y sureste de Asia que pertenecen a la *Amorphophallus*, por ejemplo, *A. Konjac* K. Koch, *A. rivierii*, *A. oncophyllus*, etc. La *A. oncophyllus* que crece en Tailandia contiene una alta cantidad de glucomananos en sus tubérculos. El glucomanano o manano de konjac es un

heteropolisacárido consistente de D-manosa y D-glucosa en el ratio de 1:6:1 con enlace β (1,4). Hay grupos acetilos aleatorios y típicamente uno por cada seis azúcares residuales. La materia prima para la harina de konjac o goma konjac es el tubérculo de la planta konjac. La harina de konjac está compuesta de 70 – 90 por ciento de glucomananos.

Según Cubero *et al.* (2002), se extrae del tubérculo de la planta *amorphophallus konjac*. Contiene alrededor de 60 por ciento - 80 por ciento de konjac que se puede obtener por molturación vía seca o bien por molturación vía húmeda. Su uso es originario de Asia, principalmente Japón y China. El konjac contiene galactomanano de alto peso molecular que consta de manosa y glucosa en proporción 3:2. La cadena principal es lineal y tiene asociados, de una forma aleatoria, grupos acetilados con una frecuencia aproximadamente 1 por cada 19 unidades de glucosa/manosa y que solo son responsables de favorecer la solubilidad en agua. Su estructura se presenta en la Figura 9.

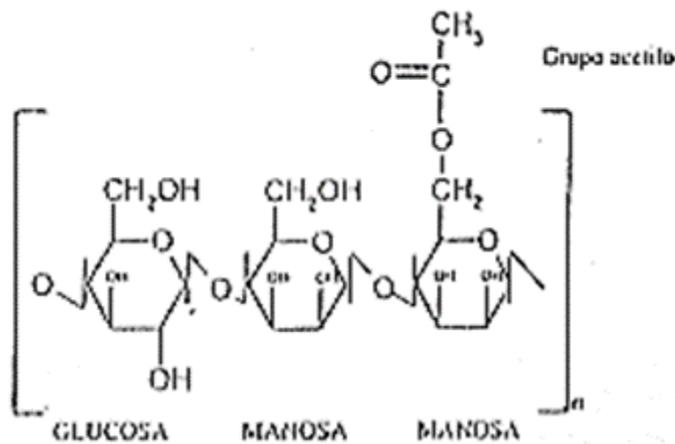


Figura 9: Estructura química de la Goma Konjac.

FUENTE: Tomado de Cubero *et al.* 2002.

Según Adisak (2002), para las aplicaciones en alimentos, la harina de konjac está basada en propiedades básicas incluyendo agente espesante, agente gelificante y capacidad de retención de agua, lo cual es adecuado para varios productos alimenticios. Esto puede ser usado para reemplazar las propiedades de la grasa en productos cárnicos bajos en grasa. La harina de konjac fue aprobada por la USDA-FSIS en julio de 1996 para su uso en productos cárnicos preparados.

La harina de konjac, cuando es calentada y enfriada, da una solución viscosa. La solución de harina de konjac no cambia a gel bajo condiciones de calentamiento. En general, los geles de polisacáridos son formados cuando largas moléculas en solución se reúnen y forman una red. Cuando la harina de konjac fue combinada, la sinergia para formar gel ocurrió. La interacción sinérgica entre la konjac y tres hidrocoloides sinérgicos incluyendo a la goma xanthan, k-carragenina y agar, fueron obtenidas (Adisak 2002).

Según Adisak (2002), la mezcla de harina de konjac/goma xanthan formó gel bajo condiciones de calentamiento para lo cual los componentes individuales no gelifican. Este comportamiento debe ser debido a la interacción intermolecular entre la harina de konjac (glucomanano) y la goma xanthan, produciendo un gel. Sin embargo, según Adisak (2002), el mecanismo exacto de esta interacción es realmente desconocido.

Para Adisak (2002), un polisacárido obtenido de algas tal como el agar y la K-carragenina, puede formar gel solo bajo ciertas condiciones. Cuando es mezclado con harina de konjac o glucomanano (que no puede formar gel), ellos interactúan sinérgicamente para producir un gel más elástico. El modelo actual de la gelificación de la mezcla de un polisacárido de alga-glucomanano estaba basado sobre observaciones de la autoasociación del glucomanano, además de la evidencia tomada para sugerir enlaces intermoleculares entre dos polisacáridos. En estudios recientes el modelo que aparece para ser aceptado fue que el glucomanano absorbe a la superficie de la zona de unión de agregado o cristalina formada por polisacáridos de algas, consolidando así esta red. Adisak (2002), declara que en enfriamiento las cadenas de carragenina se someten a un transición conformacional de un espiral aleatorio a (doble) hélice, bajando así la energía interfacial total. Las hélices pueden también autoagregarse o asociarse con cadenas de mananos. La asociación manano-carragenina puede ser privilegiada sobre la asociación carragenina-carragenina porque los mananos de konjac son moléculas descargadas.

El pico de fuerza (N) de los geles de esta mezcla fue mayor al pico mostrado por los hidrocoloides por separado. La fuerza necesaria para cortar el hidrocoloide depende de la harina de konjac / ratio de sinergia con el hidrocoloide para 1 por ciento de total de concentración de hidrocoloide, por ejemplo, las fuerza de gel de la harina de konjac / K-carragenina para 80:20 y 40:60 fueron de 5.2 N y 13.0 N, respectivamente. Los mayores

picos de fuerza fueron obtenidos similarmente para una ratio de 60:40 para todas las mezclas de harina de konjac/ gel hidrocoloide sinérgico. La diferencia en valores de pico de fuerza al mismo ratio 60:40 de gel de mezcla fueron atribuidos a los diferentes tipos de hidrocoloides. De hecho, el agar muestra un gel más quebradizo que el de K-carragenina, por lo tanto, es más fácil de romper el gel (Adisak 2002). Cuando el aumento de harina de konjac fue adicionado, el pico de fuerza de los geles de mezcla tendió a incrementarse. Esto puede deberse a que los geles de mezcla son menos quebradizos para más elásticos, así se requiere mayor fuerza para romper el gel. Sin embargo, al ratio 80:20, se obtuvieron picos de fuerza más bajos (Adisak 2002).

Tradicionalmente las soluciones de konjac se llevaban a ebullición en presencia de una base débil para producir geles estables térmicamente. La función de la base es la de romper grupos acetilos, reduciendo así la solubilidad en agua y permitiendo la formación de una red tridimensional de puentes de hidrógeno. El gel formado ofrece una considerable estabilidad a la temperatura (frío y calor) y a las variaciones de pH. Las soluciones de harina de konjac son pseudoplásticas, sin mostrar síntomas de tixotropía (Cubero *et al.* 2002).

Según Cubero *et al.* (2002) la goma konjac tiene las siguientes aplicaciones:

- Aumentar la viscosidad de sistemas acuosos: Cuando el konjac se mezcla con agua, las moléculas que lo componen absorben parte del agua del medio y se hinchan. Como consecuencia, aumentan la viscosidad de medio. La capacidad de hidratación depende principalmente de la temperatura y del tiempo.
- Formación de geles estables térmicamente: En general, los geles formados por moléculas de polisacáridos pierden su estructura de red al aumentar la temperatura. Por el contrario, los geles formados por konjac aumentan la fuerza con la temperatura y son estables a ciclos de calor. Hay que tener en cuenta que para formar geles con konjac es necesario añadir una base débil, como carbonato de potasio, para que permita la unión entre las moléculas tras la desacetilación.

- Formación de películas: La konjac ofrece buenas características de resistencia y cohesividad, con estabilidad a la temperatura y al pH. Las propiedades mecánicas del film formado pueden modificarse si usa un humectante como la glicerina. Aumentando el porcentaje de humectante se pierde fuerza y resistencia de la película, pero se aumenta la adherencia.

2.8. SALCHICHAS TIPO EMULSIÓN

Las salchichas tipo emulsión es un tipo de producto cárnico que fue hecho por métodos de proceso, así como la trituración y emulsificación. La desnaturalización moderada de la proteína de carne durante el proceso térmico le da a la salchicha tipo emulsión una textura fina y un flavor el cual reúne el requerimiento del cliente respecto la nutrición y gusto. Sin embargo, durante la cocción y la preservación, la pérdida por cocción y la pérdida por purga son seguidas por un cambio adverso en la textura que degrada la calidad de la salchicha tipo emulsión. El rendimiento es un indicador práctico para determinar la pérdida de agua y grasa durante la cocción de salchichas (Peng *et al.* 2009).

Según Mugumura *et al.* (2003), ya que el polifosfato retiene humedad, la industria procesadora típicamente usa polifosfatos para mejorar la textura de la carne, especialmente para la jugosidad de la carne y el rendimiento del producto.

Peng *et al.* (2009) mencionan que la dureza de una salchicha tipo emulsión podría ser influenciada por varios factores, primero, el fosfato aumenta la extractabilidad de la proteína muscular; luego, la carne en estado pre-rigor tiene una mejor capacidad emulsificante. Entonces, una matriz gel más fuerte con estos ingredientes es más masticable y dura, y esta textura es agradable para el consumidor. Por el otro lado, el aumento en la dureza es debido a la pérdida de agua durante el almacenamiento en refrigeración de la salchicha. Esto puede resultar en un efecto perjudicial para la calidad sensorial. Esta investigación también encontró que para salchichas con valores de dureza inicial más bajos, se puede encontrar un rápido aumento de la dureza durante su almacenamiento. Este puede ser porque una matriz gel pobre en una salchicha de baja dureza no puede retener el agua y la grasa de manera efectiva comparado con una matriz gel más fuerte en salchichas con durezas más altas.

Peng *et al.* (2009) indican que en la práctica de la industria, el congelamiento de la carne puede resultar en la pérdida de propiedades funcionales cuando es sometido a periodos largos de congelación y fluctuación de temperatura durante su almacenamiento.

El análisis del perfil de textura (TPA) ha sido ampliamente usado como método instrumental, brindando información tanto de las propiedades de deformación como de fractura en los alimentos. Las propiedades texturales son obtenidas de curvas de fuerza luego de dos compresiones bajo pruebas de medición. Dado que hay una correlación entre la medición sensorial e instrumental de la textura de salchichas, la degradación de la calidad sensorial de la salchicha en su vida útil debería ser un efecto sinérgico del aumento de la dureza y la pérdida de purga (Peng *et al.* 2009).

2.9. CARNE MECANICAMENTE DESHUESADA

La producción y preparación de varios productos, tales como cortes especiales y salchichas, ha considerado piezas de carne las cuales pueden ser mecánicamente deshuesadas. El proceso mecánico es un método eficiente de obtener carne de las partes restantes luego del deshuesado manual y de carne de aves de corral de baja calidad (Tavares *et al.* 2011).

Según Mugumura *et al.* (2003), la gelación de la proteína muscular contribuye a una textura deseada y a la estabilización de una emulsión grasa-agua en carnes procesadas. Debido a una mayor conciencia sobre la salud y la obesidad asociada con el exceso de grasa en la dieta, los consumidores quieren comer productos alimenticios bajos en grasa. Productores de carne de ave satisfará esta demanda con la producción de carne de ave baja en grasa y productos a base de carne de aves. El pollo es en la actualidad usado para la manufactura de varios productos cárnicos procesados que tradicionalmente han sido hechos a partir de cerdo. Típicamente, las salchichas hechas de carne de pollo no otorgan la fuerza de gel deseada.

Según Tavares *et al.* (2011), la carne de ave mecánicamente deshuesada es frecuentemente usada en productos de carne triturados debido a su adecuada consistencia y su relativo bajo costo. En Brasil la carne de ave mecánicamente deshuesada es usada en productos de carne

emulsionados y triturados, la cual puede ser agregado a salchichas hasta un 60 por ciento según la norma brasilera.

Tavares *et al.* (2011), indican que aunque la carne de ave mecánicamente deshuesada tiene buenas propiedades nutricionales y funcionales y es adecuada para usarse en productos a base de carne, los fabricantes aún tienen que hacer frente a los efectos negativos sobre la textura de la carne de ave mecánicamente deshuesada (blanda y suave) de los producto final cocinado.

Según Tavares *et al.* (2011), el proceso mecánico de remover la carne del hueso causa la rotura de la células, desnaturalización proteica (con empobrecimiento de las propiedades mecánicas) y un incremento de lípidos y grupos hemos libres, la cual implica varias desventajas, tal como el color, flavor, palatabilidad (atenuación de las características del sabor) y carga microbiana, haciendo a la carne de ave mecánicamente deshuesada una materia prima altamente perecible.

Tavares *et al.* (2011) mencionan que varios ingredientes funcionales capaces de mejorar las propiedades de retención de agua y modificar la textura son de interés de los procesadores de productos cárnicos. A niveles bajos, las proteínas funcionales de colágeno estabilizan la contracción y promueve el incremento del rendimiento de cocción debido a sus propiedades de gelificación y retención de agua.

El aumento de la dureza con adición de fibra de colágeno es deseable porque es un atributo textural importante en la determinación de la aceptabilidad de las salchichas. En salchichas formuladas con carne de aves mecánicamente deshuesada, su adición se convierte incluso más importante porque la carne de ave mecánicamente deshuesada tiene una consistencia suave y blanda debido a su proceso de manufactura. Por lo tanto, la carne de ave mecánicamente deshuesada no ayuda a la una textura firme en el producto final (Tavares *et al.* 2011).

Según Tavares *et al.* (2011), cuando comparan la tracción normalizada y las fuerzas de compresión en salchichas, reportan que una sustitución con carne de ave mecánicamente

deshuesada mayor a 60 por ciento en formulaciones de salchichas degrada seriamente las mediciones de las propiedades mecánicas. Además estos hallazgos corroboran la legislación brasilera, el cual limita la adición de carne de ave mecánicamente deshuesada en 60 por ciento en formulaciones de salchichas, estos efectos de la carne de ave mecánicamente deshuesada sobre la dureza no fueron encontrados en el presente estudio. La concentración de carne de ave mecánicamente deshuesada no influencia de manera significativa los términos lineales, cuadráticos o interacciones, lo cual puede deberse a la diferencia entre los métodos usados para determinar textura. Sin embargo, hubo una ligera reducción de los valores de dureza a medida que el nivel de carne de ave mecánicamente deshuesada aumentó.

Según Tavares *et al.* (2011), además respecto a la dureza, cohesividad, y adhesividad de las salchichas estas fueron afectadas por la adición de carne de ave mecánicamente deshuesada, lo cual fue manifestado en el término cuadrático. Según los estudios de investigación revisados por Tavares *et al.* (2011), por encima del 50 por ciento de adición de carne de ave mecánicamente deshuesada la cohesividad aumenta.

Las propiedades de textura de los sistemas cárnicos varían dependiendo de los otros componentes además de la grasa, tales como proteínas y agua. La inclusión de carne de ave mecánicamente deshuesada en la masa llevó a reducir el contenido de proteína y a aumentar la humedad. Una reducción del contenido de proteína y un aumento de del contenido de humedad con adición de carne de ave mecánicamente deshuesada puede explicar la reducción de los valores de cohesividad con la adición de carne de ave mecánicamente deshuesada a niveles más altos que 50 por ciento (Tavares *et al.* 2011).

Tavares *et al.* (2011) indican que la reducción del contenido de proteína y el aumento de la humedad con la adición de carne de ave mecánicamente deshuesada reduce la cohesividad porque estos cambios afectan la capacidad de emulsificación de la formulación. La reducción del contenido de proteína finalmente afecta las propiedades mecánicas y la dureza. La elasticidad y cohesividad se reduce cuando aumenta el contenido de agua. El contenido de proteína de la carne de ave mecánicamente deshuesada es más bajo que el contenido de proteína de la carne. En consecuencia, hay una reducción del contenido de proteínas miofibrilares, en particular de la miosina, la cual es la responsable de la cohesividad en salchichas cocidas. En el caso de la masa cocida del músculo, el esfuerzo cortante es afectado

por la cantidad de proteína extractada, y la deformación de corte es afectada por la calidad de la proteína extractada durante la trituración. Mientras que el esfuerzo cortante es la medida para la fuerza de gel y está altamente correlacionado con la dureza, la deformación de corte mide la cohesividad. En el estudio revisado por Tavares *et al.* (2011), se observó una reducción en la fuerza de compresión (velocidad de deformación) en una sustitución mayor a 60 por ciento en formulaciones de salchichas y una significativa reducción de los valores de cohesividad con una mayor adición de carne de ave mecánicamente deshuesada. Mientras la cohesividad ayuda a determinar el grado en cual las partículas se mantienen juntas luego de masticación, adhesividad refiere al trabajo requerido para superar las fuerzas de atracción entre la superficie del alimento y otro material sobre el cual el alimento entra en contacto. Segun Tavares *et al.* (2011), el parámetro de adhesividad no puede ser elevado en salchichas porque las salchichas están caracterizadas por ser lisas, de superficie firme sin adherencia al tacto. La adhesividad de las salchichas del experimento tendió a aumentar (efecto cuadrático) a medida que el contenido de carne de ave mecánicamente deshuesada fue en aumento en la masa de la formulación (Tavares *et al.* 2011). El aumento de la adhesividad puede ser explicado por el efecto negativo previamente descrito de la adición de la carne de ave mecánicamente deshuesada sobre la capacidad de emulsificación de la formulación contribuyendo a una mayor pérdida de líquido durante la compresión en el test de TPA. Ya que estos exudados contienen proteínas e hidrocoloides, tienen una consistencia pegajosa, y la adhesión de la superficie del alimento con la sonda puede ser mayor cuando mayor sea la cantidad de exudado liberado (Tavares *et al.* 2011).

2.10. DISEÑO DE MEZCLA

2.10.1. MARCO GENERAL

El desarrollo de cualquier nuevo producto alimenticio que involucra más de un ingrediente requiere alguna forma de experimento de mezcla, en contraposición a un experimento factorial. Este hecho es frecuentemente desconocido y, por lo tanto, se utilizan inapropiados diseños experimentales (Hare 1974).

Muchos diseños de productos y desarrollo de actividades en situaciones industriales envuelven formulaciones o mezclas donde la variable respuesta es una función de las proporciones de los diferentes ingredientes en un producto. En el experimento de mezcla más simple, la respuesta (localidad o desempeño del producto basado en algún criterio) depende de las proporciones relativas de los componentes (variables independientes o factores). Los experimentos de mezclas son una clase especial de experimentos de superficie de respuesta en el cual el producto bajo investigación es hecho de varios componentes o ingredientes (Minitab 1998).

La teoría general del diseño óptimo de experimentos se aplica a los experimentos de mezcla. Sin embargo, la restricción introduce algunas especiales características. En particular, los cambios en los valores de uno de los factores conducen a cambios en el valor de al menos de uno de los otros factores (Atkinson *et al.* 2007).

El diseño óptimo de experimentos se basa en una teoría que, como cualquier otra teoría general, proporciona una unificación de los muchos resultados por separado y una forma de la generación de nuevos resultados en situaciones nuevas (Atkinson *et al.* 2007).

Muchos productos están formados por la mezcla de dos o más ingredientes. Algunos ejemplos son los siguientes:

- Formulaciones para tortas, las cuales utilizan polvo de hornear, manteca, harina, azúcar y agua.
- Concreto formado por la mezcla de arena, agua y uno o más tipos de cementos.
- Señales luminosas o bengalas ferroviarias, las cuales son el producto de mezclar determinadas proporciones de magnesio, nitrato de sodio, nitrato de estroncio y una sustancia aglutinante.
- Bebida energizante obtenida a partir de jugos de sandía, piña y naranja.

- Revestimiento de película fotográfica elaborada a partir de la mezcla de una sal haloide de plata, un acoplador, dos solventes del acoplador y dos estabilizantes.
- Mezclas de tabaco, compuestas de tabaco ahumado, tabaco de hojas delgadas, una preparación turca y tabaco procesado.

En cada uno de los seis casos expuestos, generalmente una o más características de cada producto es de interés para el productor o experimentador responsable de la mezcla de ingredientes. Tales características son:

- La esponjosidad o apariencia de la corteza de la torta, donde cualquiera de ellas está relacionada con las proporciones de los ingredientes.
- La dureza o fuerza de compresión (medida en libras por pulgada cuadrada) del concreto, que es una función de los porcentajes de cemento, arena y agua en la mezcla.
- La iluminación (en pie-bujía) y la duración de la iluminación de las bengalas.
- El sabor frutado de la bebida energizante, el cual depende de los porcentajes de sandía, piña y naranja que están presentes en la misma.
- La estabilidad del color de las fotografías cuando son expuestas al calor y a la luz.
- El sabor y aroma de la mezcla de tabaco.

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).

2.10.2. DEFINICIÓN

En un diseño de mezclas se asume que la respuesta medida es dependiente solamente de las proporciones de los ingredientes presentes en la mezcla y no de la cantidad de esta última (Cornell 2002).

La característica distintiva de un diseño de mezclas 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. Las proporciones son no negativas y especialmente si estos son los únicos ingredientes a ser estudiados en las diferentes mezclas. Si la suma de las proporciones de los componentes es menor que la unidad, por ejemplo, si la suma es igual a 0.80 porque el 0.20 de la mezcla se mantiene constante, y se desea trabajar solo con las proporciones variables que suman 0.80, entonces dichas proporciones deben ser escritas como fracciones escaladas, de tal forma que estas sumen la unidad (Cornell 2002).

Claramente, si se hace q represente el número de ingredientes (o constituyentes) en el sistema bajo estudio, y se representa la proporción del i -ésimo constituyente o componente en la mezcla por x_i , entonces:

$$x_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, q \quad (1)$$

y

$$\sum_{i=1}^q x_i = x_1 + x_2 + \dots + x_q = 1,0 \quad (2)$$

En realidad, dado que en la Ecuación (2) una proporción individual x_i puede ser uno, una mezcla podría ser un solo ingrediente o constituyente. Tal mezcla es llamada *mezcla pura* o mezcla de “*un solo componente*”. Las mezclas de un solo componente son usadas principalmente como un punto de referencia o estándar contra el cual son comparadas las mezclas o combinaciones multicomponentes (Cornell 2002).

En virtud de las restricciones sobre los x_i mostradas en las Ecuaciones (1) y (2), la descripción geométrica del espacio factorial que contiene a los q componentes estará compuesta por todos los puntos ubicados sobre o dentro de los límites (vértices, lados, caras, etc.) de una figura geométrica regular de “ q ” vértices (denominada *simplex*), de $(q-1)$ dimensiones (Cornell 2002).

Con tres componentes ($q = 3$), el espacio simplex factorial es un triángulo equilátero, y para $q = 4$, el simplex es un tetraedro. La Figura 10 muestra el espacio simplex factorial para tres componentes. 1, 2 y 3, cuyas proporciones están denotadas por x_1, x_2 , y x_3 .

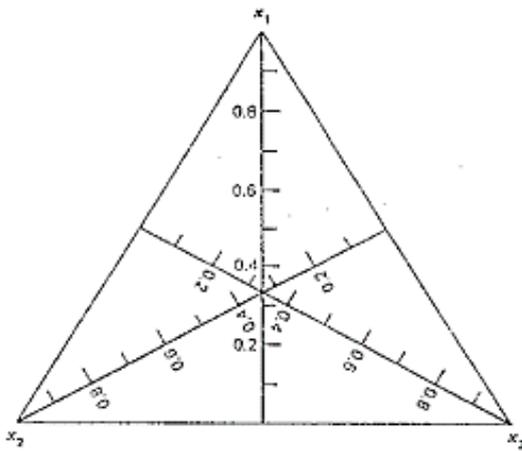


Figura 10: Sistema coordenado trilineal.

FUENTE: Tomado de Montgomery 2002.

El sistema de coordenadas usado para los valores de $x_i, i = 1, 2, \dots, q$, se denomina *sistema simplex coordinado* (Cornell 2002). Teniendo como ejemplo el caso de 3 componentes, las coordenadas pueden ser ploteadas sobre un papel cuadrículado triangular que tiene las líneas paralelas a los tres lados de un triángulo equilátero.

2.10.3. ASPECTOS GENERALES

Según Cornell (2002), en muchos de los trabajos experimentales que envuelven mezclas multicomponentes, el énfasis está dado sobre las características físicas de la superficie de respuesta medida, tales como la forma o el punto máximo de la misma. Por ejemplo, asúmase que se está elaborando una bebida energizante mediante la combinación de determinadas

proporciones de jugo de naranja, jugo de piña, y jugo de uva. La respuesta de interés es el sabor frutal de dicha bebida, cuantificando en una escala que va de 1 a 9, donde 1= no frutal, 5= promedio, 9= extremadamente frutal. Si la respuesta medida (puntaje de sabor, en este caso) para cualquier mezcla quede ser representada directamente por la altura perpendicular sobre la mezcla cuyas coordenadas están localizadas dentro o sobre los límites del triángulo, entonces el lugar geométrico de los valores del sabor para todas las mezclas de uno, dos y tres jugos puede ser visualizado como una superficie encima del triángulo.

Geoméricamente, cada curva de contorno es una proyección de una sección transversal de la superficie de sabor, hecha por un plano paralelo al triángulo que corta a través de la superficie a una altura determinada.

Según Cornell (2002), las principales consideraciones relacionadas con la exploración de la superficie de respuesta sobre la región simplex son:

- La elección de un modelo matemático apropiado que describa aproximadamente la superficie sobre la región de interés.
- La evaluación de la suficiencia del modelo para representar la superficie de respuesta.
- Un diseño apropiado para recolectar las observaciones, ajustar el modelo y evaluar la suficiencia de ajuste.

Para este fin, se asume que existe alguna relación funcional

$$\eta = \varnothing (x_1, x_2, \dots, x_q) \quad (3)$$

que, en teoría, describe exactamente la superficie (Cornell 2002).

“ η ” denota el valor de la respuesta, que es dependiente de las proporciones x_1, x_2, \dots, x_q de los componentes. Una asunción muy básica que se tiene que hacer aquí es que la superficie de

respuesta, representada por la función \emptyset , es descrita como una función continua en las x_i , $i = 1, 2, \dots, q$. El problema de asociar la forma de la superficie de respuesta con la composición de ingredientes se centra en determinar la ecuación matemática que represente adecuadamente la función $\emptyset (\cdot)$ de la ecuación (3) (Cornell 2002).

En general, para representar $\emptyset (x_1, x_2, \dots, x_q)$ se utilizan las *funciones polinomiales*. La justificación es que uno puede expandir $\emptyset (x_1, x_2, \dots, x_q)$ usando una serie de Taylor y, por ende, puede utilizarse un polinomio con una aproximación (Cornell 2002).

Normalmente, un polinomio de bajo grado tal como el de primer grado

$$\eta = \beta_0 + \sum_{i=1}^q \beta_i X_i \quad (4)$$

o el de segundo grado

$$\eta = \beta_0 + \sum_{i=1}^q \beta_i X_i + \sum_{i=1}^q \sum_{i \leq j}^q \beta_{ij} X_i X_j \quad (5)$$

es el tipo de modelo adecuado para representar la superficie. Las ecuaciones polinómicas de bajo grado son más convenientes de manejar en comparación con las ecuaciones de grados más altos, debido a que los polinomios de más bajo grado contienen pocos términos y por ello, requieren pocos valores observados de la respuesta para estimar los parámetros (los β 's) de la ecuación (Cornell 2002).

Con la finalidad de aproximar la relación funcional $\eta = \emptyset (x_1, x_2, \dots, x_q)$ con un polinomio o cualquier otra forma de ecuación o modelo, se realizan algunas corridas experimentales pre-seleccionadas, en varias combinaciones pre-determinadas de las proporciones (o mezclas de ingredientes) es referido como el “diseño experimental”. Una vez que el número adecuado de observaciones es recolectado, los parámetros del modelo son estimados por el método de mínimos cuadrados (Cornell 2002).

2.10.4. UTILIZACIÓN DEL MÉTODO DE MÍNIMOS CUADRADOS PARA LA ESTIMACIÓN DE LOS COEFICIENTES POLINOMIALES Y SUS VARIANZAS EN EL DISEÑO DE MEZCLAS: NOTACIÓN MATRICIAL

Según Cornell (2002), en notación matricial, la forma general del modelo de mezclas es la siguiente:

$$y = X \beta + \varepsilon \quad (6)$$

donde y es un vector $N \times 1$ de observaciones, X es una matriz $N \times p$ cuyos elementos son las proporciones de los componentes de mezcla y funciones de estas, β es un vector $p \times 1$ de parámetros y ε es $N \times 1$ de errores aleatorios. De esta manera se tiene:

$$y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_N \end{bmatrix}, \quad X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1q} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2q} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ x_{N1} & x_{N2} & \cdots & x_{Nq} \end{bmatrix}, \quad \beta = \begin{bmatrix} \beta_1 \\ \beta_2 \\ \vdots \\ \beta_q \end{bmatrix}, \quad \varepsilon = \begin{bmatrix} \varepsilon_1 \\ \varepsilon_2 \\ \vdots \\ \varepsilon_N \end{bmatrix}$$

$N \times 1$ $N \times q$ $q \times 1$ $N \times 1$

Asúmase una variable aleatoria y_u , tal que esa tenga un esperado $E(y_u) = \mu_u$, donde $\mu_u = \beta_1 x_{u1} + \beta_2 x_{u2} + \dots + \beta_q x_{uq}$, $u = 1, 2, \dots, N$. Entonces:

$$E(y) = E \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mu_1 \\ \mu_2 \\ \vdots \\ \mu_N \end{bmatrix} = \mu$$

Por lo tanto, el esperado de un vector es el vector de esperados. Si las varianzas y covarianzas de y_u están dadas por $\text{var}(y_u) = E(y_u - \mu_u)^2 = \sigma_u^2$, y $\text{cov}(y_u, y_{u'}) = E((y_u - \mu_u)(y_{u'} - \mu_{u'})) = \sigma_{uu'}$, respectivamente, con $u \neq u'$, entonces la matriz simétrica de varianza-covarianza ($N \times N$) estará dada por:

$$\mathbf{V} = \mathbf{E}(\mathbf{y} - \boldsymbol{\mu})(\mathbf{y} - \boldsymbol{\mu})' = \begin{bmatrix} \sigma_1^2 & \sigma_{12} & \sigma_{13} & \cdots & \sigma_{1N} \\ \sigma_{21} & \sigma_2^2 & \sigma_{23} & \cdots & \sigma_{2N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \sigma_{N1} & \sigma_{N2} & \sigma_{N3} & \cdots & \sigma_N^2 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Si las variables y_u , $u = 1, 2, \dots, N$, están normalmente distribuidas con un vector $\boldsymbol{\mu}$ y una matriz de varianza-covarianza \mathbf{V} , esto es escrito $\mathbf{y} \sim N(\boldsymbol{\mu}, \mathbf{V})$.

Cuando el modelo de la Ecuación (6) es de primer grado, $p = q$. Cuando el modelo es de segundo grado, entonces $p = q(q+1)/2$.

Las *ecuaciones normales* que se utilizan para estimar los elementos del vector de parámetros $\boldsymbol{\beta}$ de la ecuación (6) son:

$$\mathbf{X}'\mathbf{X}\mathbf{b} = \mathbf{X}'\mathbf{y} \quad (8)$$

donde la matriz $p \times p$ $\mathbf{X}'\mathbf{X}$ consiste en la suma de cuadrados y suma de productos cruzados de las proporciones de mezcla, y el vector $p \times 1$ $\mathbf{X}'\mathbf{y}$ consiste en la suma de los productos cruzados de las x_{ui} e y_u . Los estimadores mínimos cuadrados de los elementos de $\boldsymbol{\beta}$ son:

$$\mathbf{b} = (\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}\mathbf{X}'\mathbf{y} \quad (9)$$

donde la matriz $p \times p$ $(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}$ es la inversa de $\mathbf{X}'\mathbf{X}$. Dado que $\mathbf{X}'\mathbf{X}$ es simétrica, $(\mathbf{X}'\mathbf{X})^{-1}$ es del mismo tipo.

2.10.5. FALTA DE AJUSTE DEL MODELO ESTIMADO

Existen diversos procedimientos que pueden ser usados para evaluar la falta de ajuste del modelo de regresión estimado. Uno de dichos procedimientos requiere que se tomen observaciones repetidas en uno o más puntos experimentales, donde el número de puntos

experimentales diferentes es mayor al número de términos del modelo estimado. Cuando esto ocurre, la suma de cuadrados del residual, proveniente del análisis de varianza del modelo estimado, puede ser dividida en dos sumas de cuadrados: la suma de cuadrados debida a la falta de ajuste del modelo y la suma de cuadrados debido al error puro; donde esta última es calculada usando las repeticiones. Estas sumas de cuadrados, cuando son divididas por sus respectivos grados de libertad, son posteriormente comparadas en la forma de una relación F (Cornell 2002).

Adicionalmente a las repeticiones, para evaluar la falta de ajuste es necesario el uso de “puntos de comprobación”. Todo el análisis está constituido básicamente por 3 fases. La primera de estas consiste en ajustar un modelo a la data recolectada en los puntos experimentales iniciales. Luego de que el modelo ajustado es obtenido, la segunda fase consiste en recolectar observaciones adicionales en otros puntos, diferentes a los puntos experimentales anteriores, que son los denominados puntos de comprobación. La tercera fase consiste en comparar la data observada en los puntos de comprobación con los valores de la respuesta que el modelo ajustado predice en estos mismos puntos. Si las predicciones hechas con el modelo ajustado son cercanas a los valores observados de la respuesta en los puntos de comprobación, entonces se asume que el modelo es adecuado para fines de predicción. Si los valores predichos no son cercanos a los valores observados, entonces el modelo es considerado como no adecuado, debido a una falta de ajuste (Cornell 2002).

2.10.6. DISEÑOS AXIALES DE MEZCLAS

Los diseños axiales son diseños que consisten principalmente en mezclas completas o combinaciones q -componente, donde la mayoría de los puntos están posicionados dentro del simplex. Estos diseños han sido recomendados cuando se desea medir los efectos de los componentes y en experimentos de *screening*, particularmente cuando se utilizan modelos de primer o segundo grado para el ajuste de las respuestas medidas (Cornell 2002).

Para definir un diseño axial se debe considerar que el eje del componente i es la línea imaginaria que se extiende desde el punto de referencia $x_i = 0, x_j = 1/(q-1)$, para todo $j \neq i$, hasta el vértice donde $x_i = 1, x_j = 0$, para todo $j \neq i$ (Cornell 2002).

El punto de referencia es el centroide de la frontera $(q-2)$ -dimensional, el cual es opuesto a vértice $x_i = 1, x_j = 0$, para todo $j \neq i$. La longitud del eje es la distancia más corta desde la frontera $(q-2)$ -dimensional opuesta, hasta el vértice. La distancia es definida en el sistema simplex coordinado como una unidad (Cornell 2002).

Los puntos de un diseño axial están posicionados solamente sobre los ejes de los componentes. La forma más simple de un diseño axial es aquella cuyos puntos están posicionados equidistantemente desde el centroide $(1/q, 1/q, \dots, 1/q)$ hacia cada uno de los vértices. La distancia desde el centroide, medida en unidades de x_i , tiene un valor máximo de $(q-1)/q$ (Cornell 2002).

2.10.7. RESTRICCIONES MÚLTIPLES SOBRE LAS PROPORCIONES DE LOS COMPONENTES

En toda la información presentada hasta el momento, las únicas restricciones reales sobre las proporciones de los componentes fueron:

$$0 \leq x_i \leq 1, i = 1, 2, \dots, q; \quad \text{y} \quad x_1 + x_2 + \dots + x_q = 1, 0$$

Sin embargo, por lo general, uno no se encuentra en la libertad de explorar el simplex en su totalidad, debido a ciertas restricciones adicionales consideradas sobre las proporciones de los componentes. La limitación de la experimentación a una sub-región del simplex puede darse considerando restricciones relacionadas con los niveles mínimos (límites inferiores), máximos (límites superiores), o inclusive de ambos tipos. Este último caso es el que se presenta con mayor regularidad en la práctica. En cualquiera de estas situaciones, si alguna parte del simplex es la región a la que uno se confina, y si se es capaz de escoger el diseño y modelos adecuados para dicha sub-región, es claro que existirá una disminución de costos y tiempo de experimentación; así como un incremento en la precisión de los estimadores del modelo (Cornell 2002).

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:

$$0 \leq L_i \leq x_i \leq U_i \leq 1, i = 1, 2, \dots, q \quad (10)$$

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 inferior como superiormente, el espacio factorial resultante toma la forma de un hiperpoliedro convexo que, por lo general, tiene forma considerablemente más complicada que el simplex (Cornell 2002).

Muchas veces, para la localización de los puntos del diseño experimental se requieren al menos algunos de los vértices extremos de la región, así como también los puntos medios y centroides de algunos de los lados y caras bi-dimensionales, respectivamente (Cornell 2002).

2.10.8. TÉCNICA PARA MEDIR EL EFECTO DE COMPONENTES EN ZONAS EXPERIMENTALES DE MEZCLAS CON RESTRICCIONES SOBRE LOS COMPONENTES

Según Cornell (2002), cuando las proporciones de los componentes de la mezcla están restringidas por límites inferiores y superiores de la forma $0 \leq L_i \leq x_i \leq U_i \leq 1$, los rangos $R_i = U_i - L_i$, $i = 1, 2, \dots, q$, rara vez son iguales, o incluso cercanos entre ellos. Rangos desiguales producen valores desiguales de los errores estándar de los coeficientes estimados. Adicionalmente, casi siempre el centroide de la región restringida es diferente del centroide simplex; por ello, las direcciones dispuestas por los ejes de los componentes pueden no ser las mejores para medir los efectos de los componentes. Cuando se mide el efecto del componente i y se usa una mezcla de referencia diferente al centroide del simplex, es más

apropiada una dirección alternativa a la definida por eje del i -ésimo componente. Esta dirección alternativa es una línea imaginaria proyectada desde la mezcla de referencia (la cual es usualmente el centroide de la región restringida) hacia el vértice $x_i = 1$. Tal dirección, que es usada para medir el efecto del componente 1.

Conforme el valor de x_i se incrementa(o decrece), los valores de x_2 y x_3 decrecen (o se incrementan), pero la razón de x_2 sobre x_3 permanece constante. Por ello, esta dirección permite medir el efecto de un componente como si se tratase del caso de un simplex y no de una región restringida. Esta dirección fue introducida por Cox en 1971, cuando él sugirió que se podía utilizar una forma de modelo alternativo a los de Scheffé para medir los efectos de los componentes. Por tal motivo, esta nueva dirección es denominada como “dirección o trazo de Cox” (Cornell 2002).

Cornell (2002) indica que una medida de la cantidad de cambio en cada uno de los componentes restantes cuando se realiza un cambio de tamaño Δ_i (donde Δ_i puede ser > 0 ó < 0) en la dirección de Cox, entonces la nueva proporción se convierte en:

$$X_i = S_i + \Delta_i \quad (11)$$

Luego, las proporciones de los $q - 1$ componentes restantes, resultantes del cambio presentado por la Ecuación (11) a partir de s_i en el i -ésimo componente son:

$$x_j = s_j - \frac{\Delta_i s_j}{(1 - s_i)}$$

$$x_j = s_j \left(\frac{1 - s_i - \Delta_i}{(1 - s_i)} \right), j = 1, 2, \dots, q, j \neq i \quad (12)$$

La cantidad $1 - S_i$ en el denominador de (12) es el máximo valor positivo que Δ_i puede tomar. El cambio Δ_i puede ser negativo, lo cual ocurre en el caso de que el cambio se dé desde la mezcla de referencia hacia un punto cada vez más lejano del vértice $x_i = 1$. Cuando esto

ocurre, el máximo valor de Δ_i es $-s_i$. Nótese por la razón de las proporciones de los componentes j y k , x_j y x_k , definidos por la ecuación (12), es:

$$\frac{x_j}{x_k} = \frac{s_j(1 - s_i - \Delta_i)}{s_k(1 - s_i - \Delta_i)} \quad \frac{x_j}{x_k} = \frac{s_j(1 - x_i)}{s_k(1 - x_i)} = \frac{s_j}{s_k}$$

Esto equivale a la razón de los componentes j y k en la mezcla de referencia s . En otras palabras, cuando la proporción del componente i cambia de s_i a $x_i = s_i + \Delta_i$, la proporción relativa de los componentes j y k ; $j, k \neq i$, continua siendo la misma que la de la mezclas (Cornell 2002).

2.10.9. OPTIMIZACIÓN SIMULTÁNEA DE VARIAS RESPUESTAS

Un problema común en el desarrollo de un producto es aquel que envuelve la determinación de la combinación o mezcla óptima de las proporciones de los componentes, para dos o más características de dicho producto (Cornell 2002).

Cuando existen solamente tres, o cuatro componentes como máximo, es posible resolver este problema mediante la inspección del ploteo de contornos de las superficies estimadas; los mismo que podrán estar asociados con cinco o seis características o respuestas diferentes como máximo. Cuando el problema consiste en maximizar o minimizar una respuesta sujeta a restricciones sobre los valores de otra, se pueden utilizar, algunas veces, métodos de programación lineal (Cornell 2002). Sin embargo, un procedimiento que ha ganado popularidad con los creadores de programas consiste en introducir una medida total de la *deseabilidad* (d_i) asociada con las diferentes mezclas, en un esfuerzo para encontrar la “mejor” (Cornell 2002).

Cuando varias características o respuestas y_1, y_2, \dots, y_k han sido modeladas, considerando las proporciones del mismo grupo de q componentes, la pregunta que naturalmente aparece es: ¿en qué lugar del espacio factorial o de composición puede obtenerse el mejor grupo de dichas características? Supóngase que se escoge, para cada característica, un grupo de valores $A_i \leq y_i \leq C_i$, $i = 1, 2, \dots, k$; tal que el producto es inaceptable si $y_i < A_i$ ó $y_i > C_i$, la

deseabilidad del producto se incrementa entre A_i y B_i , y decrece entre B_i y C_i . De esta manera, se puede definir qué:

$$d_i = \begin{cases} \left[\frac{\hat{y}_i - A_i}{B_i - A_i} \right]^r & \text{para } A_i \leq \hat{y}_i \leq B_i \\ \left[\frac{\hat{y}_i - C_i}{B_i - C_i} \right]^s & B_i < \hat{y}_i \leq C_i \\ 0 & \hat{y}_i < A_i \text{ o } \hat{y}_i > C_i \end{cases} \quad (13)$$

donde A_i y C_i , son los valores mínimo aceptable y máximo aceptable respectivamente, para \hat{y}_i . Seleccionando determinados valores para las potencias r y s , se puede atribuir varios niveles de deseabilidad para varios valores de \hat{y}_i , tal como se muestra en la Figura 11. Esta es una relación de *dos lados*, teniendo a B_i como el valor más deseable de \hat{y}_i .

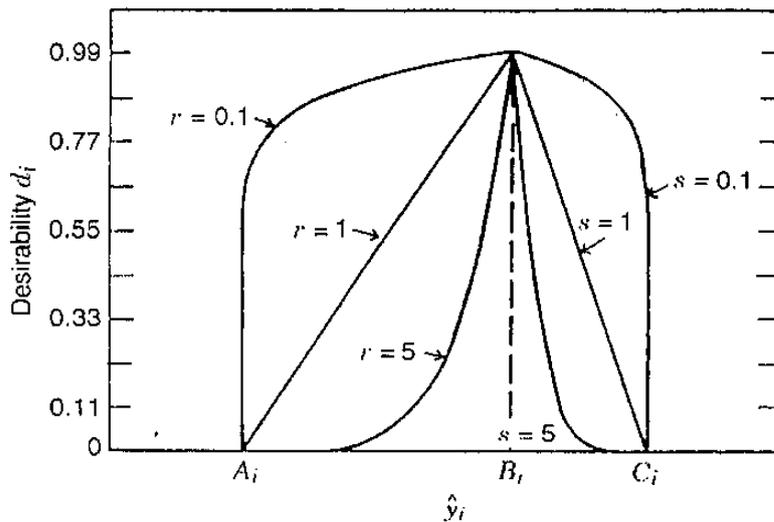


Figura 11: Ploteo de la función deseabilidad de dos lados.

FUENTE: Tomado de Cornell 2002.

En la Figura 11 se plotean diferentes valores de r y s . Para ilustrar, supóngase que B_i representa aproximadamente el 60 por ciento de la distancia entre A_i y C_i . La Figura 11 muestra también que se seleccionarían valores grandes (aproximadamente 10) para r y s , si es muy deseable un valor de \hat{y}_i cercano a B_i . En este caso, la deseabilidad de d_i no sería alta hasta que \hat{y}_i está muy cerca a B_i . Por otro lado, si cualquier valor de \hat{y}_i por encima de A_i y debajo de C_i fuese aceptable, valores pequeños de r y s (cercanos a 1) considerarían los dos

extremos. Se puede seleccionar también un valor alto de r y bajo de s , si es que fuera deseable que \hat{y}_i se incremente rápidamente hasta B_i , mientras que prácticamente cualquier valor por encima de B_i pero debajo de C_i es deseable.

Para el caso de un solo lado, d_i se incrementa conforme y_i también se incrementa, y es empleada cuando y_i es maximizada (se supone $B_i = C_i$, y se define $d_i = 1$ cuando $y_i \geq B_i$).

La expresión para maximizar y_i es:

$$d_i = \begin{cases} 0 & \hat{y}_i \leq A_i \\ \left[\frac{y_i - A_i}{B_i - A_i} \right]^t & A_i < \hat{y}_i < B_i \\ 1 & \hat{y}_i \geq B_i \end{cases} \quad (14)$$

El ploteo de la Ecuación (14) es mostrado en la Figura 12, para varios valores de t . El procedimiento descrito puede ser usado para maximizar alguno de los valores d_i (correspondiente a cierto \hat{y}_i). Esto sería similar a la metodología de programación lineal. Cabe mencionar que la minimización de y_i es equivalente a la maximización de $-y_i$; es decir, suponer que $A_i = B_i$ y definir $d_i = 1$ para $y_i \leq B_i$.

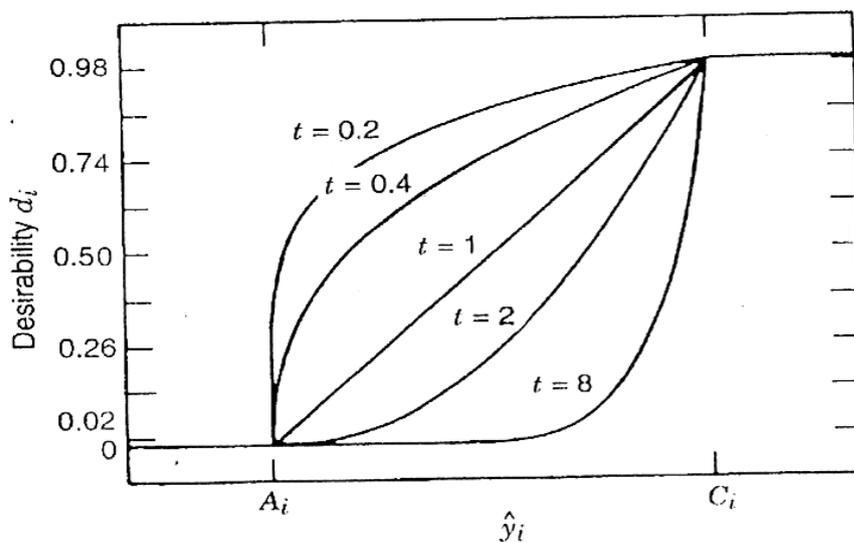


Figura 12: Ploteo de la función de deseabilidad de valores de t .

FUENTE: Tomado de Cornell 2002.

2.10.10. METODOLOGÍA DE SUPERFICIE DE RESPUESTA

Algunas veces hay experimentos con los que no se obtienen las respuestas buscadas o el nivel de mejoras logrado no es suficiente, por lo que es necesario experimentar de manera secuencial hasta encontrar el nivel de mejoras deseado. En este caso, después de una primera etapa experimental quizá sea necesario desplazar la región experimental (moverse de lugar) en una dirección adecuada, o bien, explorar en forma más detallada la región experimental inicial. La forma de realizar ambas cosas es parte de la llamada metodología de superficie de respuesta (MSR). La MSR es la estrategia experimental y de análisis que permite resolver el problema de encontrar las condiciones de operación óptimas de un proceso, es decir, aquellas que por resultado da “valores óptimos” de una o varias características de calidad del producto (Gutiérrez *et al.* 2008).

La región experimental es el espacio delimitado por los rangos de experimentación utilizados con cada factor. La región de operatividad está delimitada por el conjunto de puntos o condiciones donde el equipo o proceso puede ser operado. Es difícil delimitar con certeza el tamaño de la región de operatividad, ya que aun cuando se conozca (por especificaciones del equipo) el rango en que se puede colocar cada factor individual, es necesario determinar esos límites considerando varios factores de manera simultánea. Por ejemplo, es posible que la temperatura se pueda correr en su nivel más alto de operatividad, siempre y cuando los factores de velocidad y fuerza se mantengan bajos. La región de operatividad considera todas las condiciones posibles de los niveles de los factores donde el proceso puede operarse y ésta siempre es igual o más grande a la región experimental (Gutiérrez *et al.* 2008).

Según Montgomery (2002), cuando hay tres componentes de una mezcla, la región experimental restringida puede presentarse de manera conveniente en papel de coordenadas trilineales, como se muestra en la Figura 11. Cada uno de los tres lados de la gráfica de esa figura representa una mezcla que carece en absoluto de uno de los tres componentes (el componente indicado en el vértice opuesto). Las nueve líneas de malla en cada dirección indican incrementos de 10 por ciento en los componentes respectivos.

En la MSR es importante tener presente esta visión de las regiones de operatividad y experimental, ya que en principio, el punto óptimo que interesa encontrar pudiera localizarse en cualquier lugar de la región de operatividad dentro o fuera de la región experimental inicial. En procesos ya establecidos y muy estudiados es de esperarse que dicho punto óptimo se encuentre no muy lejos de las condiciones usuales, posiblemente dentro de la región experimental inicial. En cambio, cuando el proceso es nuevo o cuando el proceso se está escalando o rediseñando, es más probable que el punto de interés se ubique fuera de la región experimental propuesta para el experimento inicial y en ese caso primero será necesario acercarse a dicho punto para luego “atraparlo” (Gutiérrez *et al.* 2008).

En un diseño de mezcla, es imposible variar un ingrediente o componente mientras todos los demás permanecen constantes. Tan pronto como la proporción de un componente es alterado, la proporción de al menos otro resulta modificado; dado que la suma de todos los ingredientes es siempre 1.0 (Hare 1974). Dicho comportamiento se encuentra graficado en la Figura 13. Según Montgomery (2002), en los experimentos de mezcla, los factores son los componentes o ingredientes de una mezcla, y en consecuencia, sus niveles no son independientes. Por ejemplo, si X_1, X_2, \dots, X_p denota las proporciones de p componentes de una mezcla, entonces:

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

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

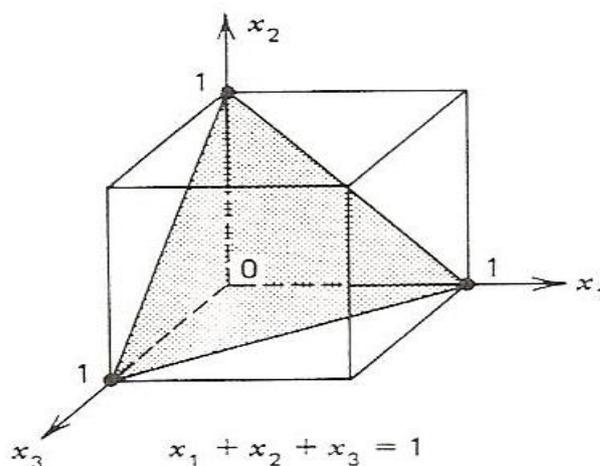


Figura 13: Espacio factorial para tres componentes

FUENTE: Tomado de Montgomery 2002.

Con tres componentes el espacio muestral es un triángulo cuyos vértices corresponden a formulaciones que son componentes puros (“mezclas” consistentes en 100 por ciento de un solo componente).

En muchos experimentos se encuentra el mejor tratamiento o mejor combinación de niveles de los factores estudiados, y muchas veces éste resulta ser uno de los que corrieron en el experimento. En particular, en diseños factoriales completos el mejor tratamiento es el tratamiento “ganador”. Desde el punto de vista estadístico, de entre todos los que se probaron en el estudio. En cambio, el punto óptimo implica que es la mejor combinación posible en toda la región de compatibilidad. Así, determinar el punto óptimo plantea un reto más fuerte para el experimentador y requiere de una estrategia más completa, que incluye la posibilidad de realizar varios experimentos en forma secuencial y el uso de otras técnicas de análisis (Gutiérrez *et al.* 2008).

Es razonable que el tratamiento ganador sea el punto experimental más cercano al verdadero punto óptimo, sobre todo si el experimento inicial tiene una buena región experimental. Para atrapar el óptimo es preciso desplazarse de la región en la mejor dirección y correr al menos otro diseño experimental que abarque al punto en cuestión y permita estudiar los efectos de la curvatura pura. En la práctica, la realidad del proceso no se conoce, por lo tanto no se sabe dónde está el punto óptimo y sólo se dispone de la información obtenida en la región experimental para inferir hacia donde se debe continuar explorando. En algunos procesos ocurrirá que el tratamiento ganador resulta ser casi tan bueno como el punto óptimo y habría que considerar si vale la pena realizar el esfuerzo de atrapar el óptimo (Gutiérrez *et al.* 2008).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. LUGARES DE EJECUCIÓN

De acuerdo a la etapa involucrada, el presente trabajo de investigación se llevó a cabo en los siguientes lugares de Lima Metropolitana:

- Laboratorio de Investigación de la Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

- Laboratorios de investigación y desarrollo de la empresa Quimtia S.A.

3.2. MATERIA PRIMA

3.2.1. INSUMOS PARA LA MEZCLA DE HIDROCOLOIDES

- k-Carragenina – Cargill[®]
- Goma Konjac – Chendu Newstar Konjac CO, Ltd[®]
- Goma Guar – Silva team[®]
- Goma Tara – Tecnacorp[®]
- Agua

3.2.2. INSUMOS PARA FORMULACIÓN DE UN *HOT DOG* ECONÓMICO

La materia prima, insumos y sus respectivas cantidades se detallan en el Tabla 2:

Tabla 2: Materias primas, insumos y cantidades empleados para la formulación del *hot dog* económico

Materia Prima	Porcentaje
Pasta de pollo Congelada	44.0
Piel de Pollo Congelada	6.0
Sub-total 1:	50.0
Agua/Hielo	28.400
Sal	1.400
Nitral al 6%	0.340
Tripolifosfato de sodio	0.400
Ascrobato/Eritorbato	0.060
Carmin al 3%	0.050
Cond. Suiza	1.000
Humo Líquido	0.350
Proteína Concentrada Soja	3.000
Almidón de Papa	14.500
Carragenina	0.500
Sub-total 2:	50.000
Total:	100.000

3.3. EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS

3.3.1. EQUIPOS

- Balanza analítica AB204-S/Fact *Classic Plus* marca *Mettler Toledo*.
- Horno *Nova Max 2000*.
- Cutter *Hobart*.

- Embutidora *Hobart*.
- Texturómetro QTS-25 *Texture Analyzer* marca *Brookfield*.

3.3.2. MATERIALES

- Papel Toalla.
- Pañuelos desechables triple hoja.
- Papel milimetrado.
- Bisturí, con cuchilla N° 22.
- Guantes.
- Cuchillos
- Placas Petri
- Frascos de vidrio
- Embudos de vidrio
- Marcadores
- Pie de rey
- Vasos descartables
- Vasos de precipitado de 20, 25 y 50 mL.
- Probetas de 10, 25, 50 y 100 mL.
- Termómetro de Mercurio.
- Baqueta de vidrio.
- Tablas de picar.
- Fundas para *hot dog*.

3.4. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

3.4.1. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño de la investigación trabajada se detalla en el Figura 14. El diseño experimental fue trabajado en base al diseño de mezclas con cuatro componentes para una aplicación posterior de la metodología de superficie de respuesta. Los porcentajes de incorporación de los

hidrocoloides en el diseño experimental de las mezclas se evaluaron de acuerdo a las restricciones mostradas en el Tabla 3.

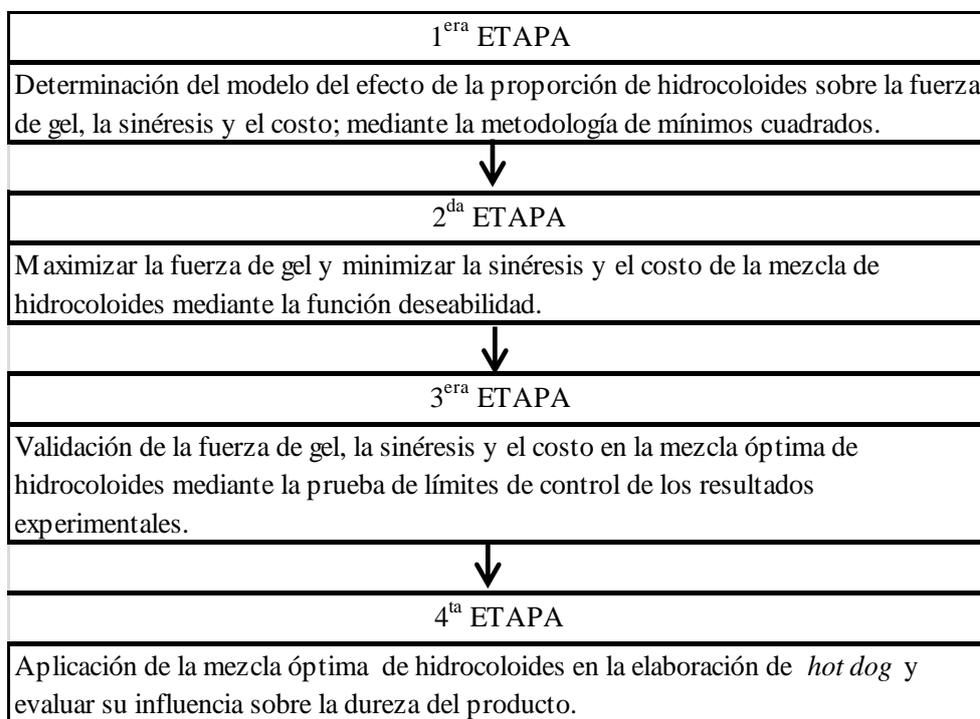


Figura 14: Etapas del diseño experimental de la investigación.

Tras la aplicación del *Software Design Expert* 9[®], se obtuvo el diseño experimental que se muestra en el Tabla 4 (10 puntos experimentales, 5 puntos para la evaluación de la suficiencia de ajuste del modelo matemático y 5 puntos repetidos).

Tabla 3: Restricciones sobre los ingredientes de la mezcla total

Limites en función de la masa total				
60	\leq	Carragenina	\leq	80
0	\leq	Goma de Tara	\leq	40
0	\leq	Goma Guar	\leq	40
0	\leq	Goma Konjac	\leq	40

Las variables respuesta evaluadas en la investigación fueron tal como se detallan en el Tabla 5:

- Fuerza de gel
- Sinéresis
- Costo

Tabla 4: Diseño Experimental

Corrida	A:Carragenina	B:Guar	C:Tara	D:Konjac
	(%)	(%)	(%)	(%)
1	60	0	0	40
2	60	0	40	0
3	70.06	9.55	0	20.39
4	80	0	2.36	17.64
5	60	40	0	0
6	77.85	0	22.15	0
7	60	18.2	0	21.8
8	60	0	40	0
9	60	40	0	0
10	60	0	28.25	11.75
11	60	18.2	0	21.8
12	60	0.61	13.79	25.6
13	60	22.47	17.53	0
14	68.07	9.62	13.55	8.76
15	80	8.03	6.98	4.98
16	60	22.47	17.53	0
17	80	20	0	0
18	60	0	0	40
19	70.48	0	11.94	17.58
20	65.66	25.53	1.37	7.44

Tabla 5: Restricciones de las variables respuesta

Restricciones de las variables respuesta		
Y ₁	>	Fuerza de gel
Y ₂	<	Sinéresis
Y ₃	<	Costo

Obtenidos los resultados de las 20 formulaciones a realizar (ver Tabla 4), se procedió con la determinación del nivel óptimo y comparación de mezclas mediante tres etapas:

1. En la primera etapa, se evaluaron la fuerza de gel (Y₁), sinéresis (Y₂) y costos (Y₃) con lo que se obtuvo modelos matemáticos mediante la metodología de los mínimos cuadrados y en el caso del costo mediante la metodología de regresión lineal con empleo del software *Desing Expert 9*[®]. Estas metodologías evaluaron las relaciones existentes entre cada una de ellas y los componentes de la mezcla (goma de tara, goma guar, goma konjac y k-carragenina).
2. En una segunda etapa con los modelos polinomiales obtenidos, se determinó la zona de formulación factible, considerando las siguientes restricciones para cada una de las variables respuesta referidas en el Tabla 5. En función a las variables respuesta se procedió a la optimización simultánea de respuestas con empleo del software *Desing Expert 9*[®]. De esta manera se obtuvo una formulación con los niveles óptimos de goma de guar, goma de tara, goma konjac y k-carragenina. La formulación óptima fue evaluada bajo las mismas metodologías y se hallaron los valores para cada variable respuesta; las cuales fueron posteriormente comparadas con los valores predichos, de acuerdo a los modelos estimados por la metodología de superficie de respuesta.
3. En la tercera etapa se realizó la aplicación de la mezcla óptima de hidrocoloides obtenida en la etapa anterior para la elaboración de un *hot dog* económico, dichas muestras fueron sometidas a un análisis de perfil de textura. Se trabajó con una fórmula de un *hot dog* económico y se compararon tratamientos modificándose únicamente la dosis de mezcla de hidrocoloide. Las muestra trabajadas tuvieron rangos de aplicación de 0.00 por ciento (control), 0.50 por ciento y 1.00 por ciento; con la finalidad de evidenciar la diferencia

en la dureza del producto terminado los resultados fueron validados estadísticamente aplicando la metodología de *t* de *student* con empleo del software *Desing Expert 9*[®].

3.5. MÉTODO DE ANÁLISIS

3.5.1. PREPARACIÓN DE MUESTRAS

Se incorporaron los porcentajes de hidrocoloides determinados en el diseño experimental y fueron mezclados en una licuadora por 45 segundos, posteriormente se acondicionaron en frascos de vidrio para proceder a una cocción a 90 °C por 1 hora, con la finalidad de eliminar la mayor cantidad de burbujas y asegurar una completa disolución de los hidrocoloides. Posteriormente la mezcla será vaciada en placas petri y almacenadas a temperatura ambiente (18 °C – 25 °C).

3.5.2. ANÁLISIS DE FUERZA DE GEL

De acuerdo con Chan *et al.* (2011), las muestras de gel fueron colocadas en frascos cumpliendo las medidas de 30 mm x 30 mm. Se empleó el texturómetro QTS-25 *Texture Analyzer* de *Brookfield* para determinar la fuerza de gel en las muestras, diferente al empleado en la bibliografía. Se empleó un cilindro acrílico de 0.5 pulgadas de diámetro para realizar la prueba. Las muestras de gel fueron sometidas bajo una carga de 5 kg con un ratio de deformación de 20 mm/min.

3.5.3. ANÁLISIS DE SENÉRESIS EN GEL

De acuerdo con Chan *et al.* (2011), los geles se ubicaron en placas petri y serán cortados en 30 mm x 8 mm. El gel cilíndrico formado fue almacenado en un contenedor a temperatura ambiente por 6 días. Se registró el peso inicial del gel (W_0) y del contenedor vacío. En el tiempo determinado, el agua condensada en las paredes del contenedor fue removida con papel *tissue*. Luego de removida el agua, el peso del gel será medido (W_t).

La sinéresis del gel será medida de la siguiente manera:

$$\text{Sinéresis (\%)} = [(W_0 - W_t) / W_0] \times 100.$$

Donde W_0 es el peso inicial del gel y W_t es el peso del gel en el día t .

3.5.4. ELABORACIÓN DE *HOT DOG*

La elaboración del *hot dog* se realizó de acuerdo a los puntos detallados en el Figura 15.

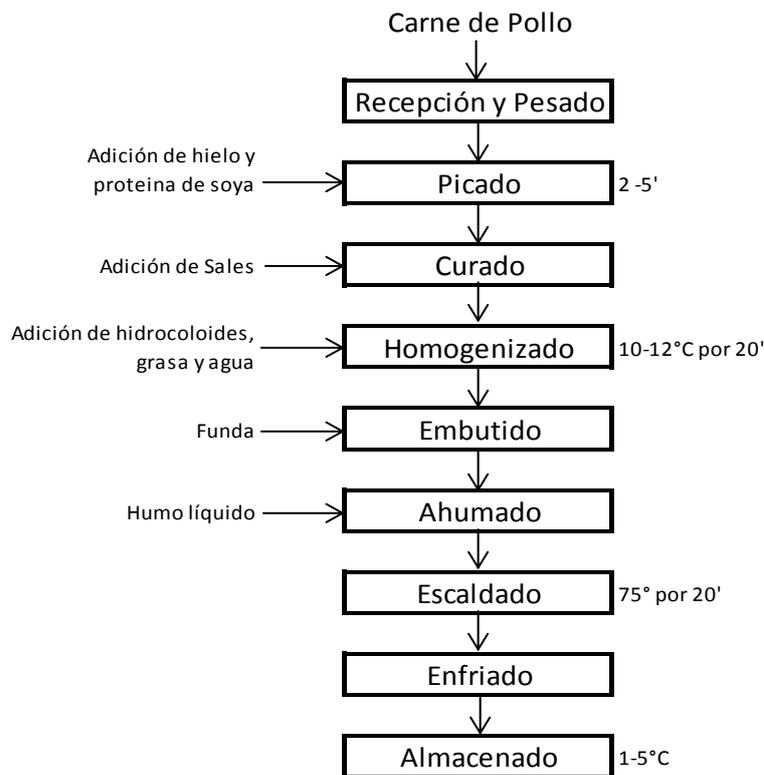


Figura 15: Diagrama de flujo de elaboración de *hot dog*.

3.5.5. ANÁLISIS DE LA DUREZA DEL *HOT DOG* MEDIANTE TPA

De acuerdo con Gadiyaram *et al.* (2004), los *hot dog* fueron pesados individualmente, ubicados en ollas y cubiertos con papel aluminio y cocidos en un horno convencional a una temperatura interna de 75 °C. Los productos fueron refrigerados a 2 °C por 25 horas para

remover finalmente los centros. Los *hot dogs* fueron cortados en rodajas de 1.25 cm de espesor y centros 1 cm fueron removidos del centro de cada rodaja para el análisis de perfil de textura. El análisis de perfil de textura fue llevado a cabo usando un texturómetro Texturómetro QTS-25 *Texture Analyzer* marca *Brookfield*, con una carga de 25 kg, velocidad de 360 mm/min, y el cabezal fijado a un 75 por ciento de deformación. Las muestras de centros cilíndricos fueron ubicadas verticalmente (altura de la muestra 1.25 cm) en una plataforma estacionaria y comprimidas por un sonda de cilíndrica (diámetro 2.5 cm) unido al cabezal. Se trabajaron 3 muestras de cada tratamiento 0 por ciento, 0.5 por ciento y 1 por ciento de la mezcla óptima de hidrocoloides a fin de evaluar la dureza que aporta al producto terminado *hot dog*.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1. FUERZA DE GEL DE LA MEZCLA DE HIDROCOLOIDE

4.1.1. ESTABLECIMIENTO DEL MODELO MATEMÁTICO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los valores observados de la fuerza de gel de mezcla de hidrocoloides, correspondientes a cada una de las formulaciones trabajadas en la investigación, son presentados en el Tabla 6.

Tabla 6: Resultados de la fuerza de Gel de la mezcla de hidrocoloides en los puntos observados

Corrida	Carragenina (%)	Tara (%)	Guar (%)	Konjac (%)	Fza Gel (g)
1	60.00	0.00	0.00	40.00	1374.33
2	60.00	0.00	40.00	0.00	268.00
3	70.06	9.55	0.00	20.39	942.67
4	80.00	0.00	2.36	17.64	606.67
5	60.00	40.00	0.00	0.00	262.67
6	77.85	0.00	22.15	0.00	255.00
7	60.00	18.20	0.00	21.80	609.67
8	60.00	0.00	40.00	0.00	267.67
9	60.00	40.00	0.00	0.00	261.33
10	60.00	0.00	28.25	11.75	377.33
11	60.00	18.20	0.00	21.80	611.33
12	60.00	0.61	13.79	25.60	714.33
13	60.00	22.47	17.53	0.00	232.67
14	68.07	9.62	13.55	8.76	478.00

«continuación»

15	80.00	8.03	6.98	4.98	307.67
16	60.00	22.47	17.53	0.00	232.33
17	80.00	20.00	0.00	0.00	342.33
18	60.00	0.00	0.00	40.00	1369.67
19	70.48	0.00	11.94	17.58	720.67
20	65.66	25.53	1.37	7.44	516.33

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

$$\hat{y} = -1435.49*A - 11116.58*B - 8135.37*C - 5651.36*D + 23206.95*A*B + 18293.39*A*C + 18738.53*A*D - 1107.52*B*C - 6346.70*B*D - 7319.65*C*D \quad (15)$$

Donde \hat{y} representa la fuerza de gel de la mezcla de hidrocoloides estimada o predicha (g); mientras que A , B , C y D corresponden a los porcentajes de carragenina, goma guar, goma tara y goma konjac, respectivamente, presentes en la mezcla.

Los resultados del ANVA de dicho modelo se muestran en el Tabla 7.

Tabla 7: Resumen de resultados ANVA de la fuerza de gel

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Media cuadrática	Valor F	Valor P Prob > F	Resultado
Modelo	2 313 692.39	9.00	257 076.93	358.27	< 0.0001	Significativo

Utilizando el criterio mencionado por Salazar (2006), 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; la significancia del coeficiente en cuestión queda establecida, se puede afirmar que los coeficientes son altamente significativos, tanto 95 por ciento como al 99 por ciento de nivel de confianza, puesto que el valor p es inferior a 0.0001; lo que implica que

el modelo es adecuado incluso para el más exigente nivel de confianza.

Adicionalmente, se puede afirmar que el experimento tuvo buena reproducibilidad, ya que según los resultados presentados en el Tabla 8, la suma de cuadrados del error puro es menor en comparación con la suma de cuadrados total. Al respecto Cornell (2002) señala que esta interpretación es válida, ya que para la determinación de la suma de cuadrados del error puro se utilizan las repeticiones consideradas en el diseño experimental. Gunawan *et al.* (2005) proponen la misma interpretación para esta fuente de variabilidad.

Tabla 8: Resumen de resultados de la Suma de Errores Cuadrados de la fuerza de gel

Fuente	Suma de Cuadrados
Modelo	2 313 692.39
Falta de Ajuste	7162.20
Error Puro	13.28
Error Total	2 320 867.87

Considerando el coeficiente de determinación (R^2), se puede establecer que el 99.67 por ciento de la variación en la respuesta es explicada por el modelo seleccionado. Con este valor se puede afirmar que el modelo es significativo; siendo además suficiente para representar la relación existente entre la respuesta (fuerza de gel) y las variables estudiadas (carragenina, goma guar, goma tara y goma konjac). Por otro lado, con referencia al coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}), según Salazar (2006), el uso en reemplazo de R^2 como una medida de bondad de ajuste de la ecuación de regresión a las observaciones experimentales, mencionando que cuando su valor es cercano a 1, el grado de correlación entre los valores observados y predichos por el modelo es alta. En tal sentido, de acuerdo a lo mencionado por Salazar (2006), que el valor R^2_{adj} registrado (0.9941), el modelo de la Ecuación (15) se ajusta de manera adecuada a los datos experimentales referidos en el Tabla 7.

4.1.2. EFECTO DE LOS INGREDIENTES SOBRE LA FUERZA DE GEL

Las Figuras 16 y 17 muestran la superficie de respuesta y el ploteo de contornos, respectivamente, para la fuerza de gel, en función del porcentaje de carragenina (A), goma guar (B), goma tara (C) y goma konjac (D). Tal como podemos apreciar en ambas figuras la tonalidad cambia de azul a verde y de verde a rojo en función al incremento de la variable respuesta; siendo azul los niveles más bajos, verde valores intermedios y rojos los valores más altos. Se muestra un pico de 1374 g donde la carragenina (A) se mantiene en un 60 por ciento de participación en mezcla final y permite apreciar la influencia del resto de componentes desde un 0 por ciento hasta el 40 por ciento; señalando por tanto que la maximización buscada para la variable respuesta fuerza de gel se da en función al aumento de la goma konjac (D); luego sigue las mezclas con goma guar (B) y finalmente con goma tara (C).

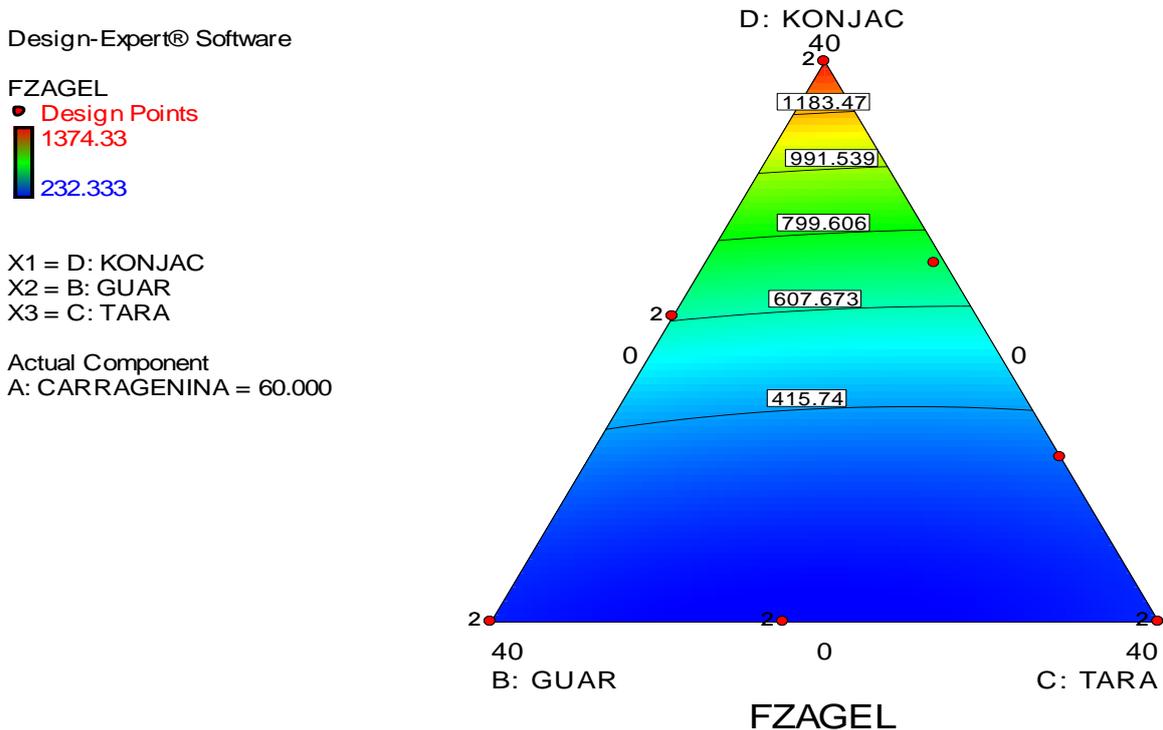


Figura 16: Ploteo de Contornos de la fuerza de gel de los componentes carragenina (60%), goma konjac, goma guar y goma de tara.

Design-Expert® Software

FZAGEL
1374.33
232.333

X1 = D: KONJAC
X2 = B: GUAR
X3 = C: TARA

Actual Component
A: CARRAGENINA = 60.000

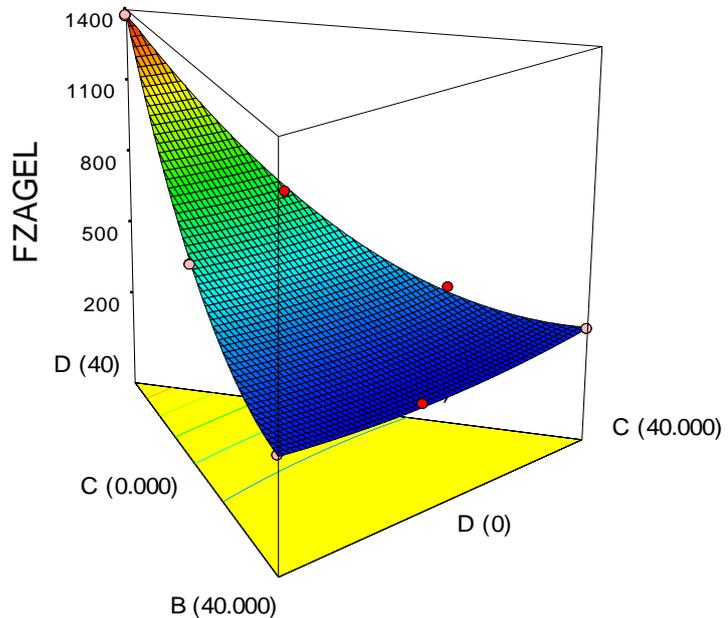


Figura 17: Superficie de respuesta de la fuerza de gel de los componentes carragenina (60%), goma konjac, goma guar y goma de tara.

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 18.

De acuerdo a Cornell (2002) se puede apreciar en el trazo de carragenina (A), valores bajos de fuerza de gel cuando su participación es menor en la mezcla inicialmente; sin embargo tiene un pendiente positiva y conforme aumenta su proporción en la mezcla llega a un pico de fuerza de gel, posterior a ello la pendiente se vuelve negativa y niveles mayores de carragenina en la mezcla terminan disminuyendo la variable respuesta.

En el caso de la goma guar (B) presenta un trazo de Cox, al igual que en el caso de la carragenina con dos pendientes, inicialmente cuando su proporción en la mezcla es menor se obtiene valores bajos de fuerza de gel, pero presenta pendiente positiva lo que implica que conforme aumente su proporción aumentarán los valores de fuerza de gel, sin embargo esto se da hasta un punto máximo para luego cambiar la pendiente a negativa indicando que

luego de ese punto máximo cantidades superiores de goma guar (B) terminan disminuyendo la fuerza de gel. Cabe resaltar que en la mayor parte del trazo de cox la pendiente es negativa y solo a bajas proporciones se tienen resultados alineados con la maximización de fuerza de gel.

En el trazo de cox de la goma de tara (C), al igual que en el casos anteriores de carragenina y goma guar hay dos pendientes, inicialmente cuando su proporción en la mezcla es menor se obtiene valores bajos de fuerza de gel, dado que la pendiente es positiva conforme aumenta su proporción en la mezcla los valores de fuerza de gel también lo hacen hasta un punto máximo donde la pendiente cambia a negativa, indicando que luego de ese punto máximo cantidades superiores de goma de tara disminuyen la fuerza de gel. Cabe resaltar que en la mayor parte del trazo de cox la pendiente es negativa y que solo a bajas proporciones tiene resultados alineados con la maximización de fuerza de gel.

En el caso de la goma konjac (D) se aprecia un considerable incremento en la fuerza de gel conforme aumenta el porcentaje de esta en la mezcla. Al igual que en los casos anteriores de goma guar (B), tara (C) y carragenina (D) se presentan dos pendientes en el trazo de cox, inicialmente positiva, muy prolongada, hasta llegar a un punto máximo de fuerza de gel para luego cambiar a un pendiente negativa donde cualquier aumento de goma konjac (D) en la mezcla reduce la variable respuesta. A diferencia de los casos de goma guar (B) y goma tara (C), donde la mayor parte del trazo de cox tiene una pendiente negativa, en el caso de la goma konjac no, ya que la mayor parte del trazo tiene una pendiente positiva y por tanto se puede trabajar en proporciones mayores en la mezcla con la finalidad de maximizar la fuerza de gel.

Design-Expert® Software

FZAGEL

Actual Components

A: CARRAGENINA = 67.297

B: GUAR = 8.649

C: TARA = 12.703

D: KONJAC = 11.351

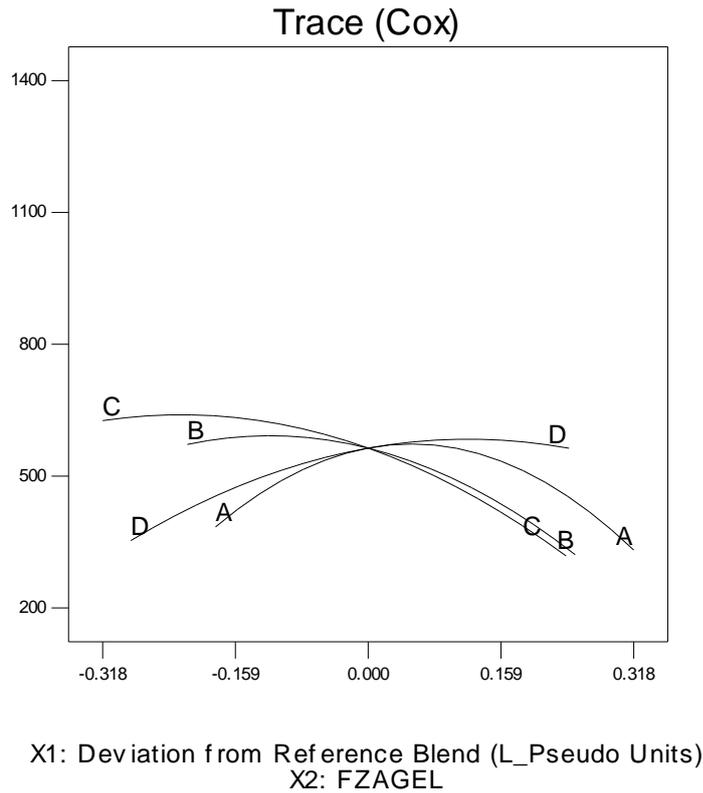


Figura 18: Trazos de COX de la fuerza de gel de los componentes carragenina, goma konjac, goma guar y goma de tara.

Según Ayadi *et al.* (2009), los hidrocoloides tienen características únicas y son de gran interés en la industria por la habilidad de poder formar geles, en contraste con los resultados podemos indicar que tanto la carragenina (A) y la goma konjac (D) tienen esta característica más pronunciada a comparación de la goma guar y de la goma tara; por esta razón los resultados en fuerza de gel son mayores conforme se incrementa su participación en la mezcla.

Si bien todas las mezclas parten con una base de 60 por ciento de carragenina, lo cual nos asegura la formación del gel, ya que según Ayadi *et al.* (2009) la carragenina (A) tiene esta propiedad ampliamente estudiada, la fuerza de gel se ve afectada en los casos de participación de goma guar (B) y de goma tara (C), donde el comportamiento de la goma guar (B) es ligeramente superior al de goma de tara.

Sin embargo, conforme la participación de la goma guar y de la goma de tara se reducen y a su vez aumenta la proporción de carragenina (A) y konjac (D) en la composición de la mezcla, se obtienen valores superiores de fuerza de gel; encontrándose los resultados más altos en la medida en que aumenta en la mezcla el porcentaje de konjac (D), lo cual según Adisak (2002), se debe la presencia de los glucomananos que tiene este componente lo cual le otorga la capacidad de ser un agente gelificante.

4.2. SINÉRESIS DE LA MEZCLA DE HIDROCOLOIDE

4.2.1. ESTABLECIMIENTO DEL MODELO MATEMÁTICO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los valores observados de sinéresis de la mezcla de hidrocoloides, correspondientes a cada una de las formulaciones trabajadas en la investigación, son presentados en el Tabla 9.

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

$$\hat{y} = -10.02*A + 76.39*B + 30.30*C - 11.09*D + 51.75*A*B + 96.12*A*C + 104.58*A*D - 338.20*B*C - 375.67*B*D - 263.49*C*D \quad (16)$$

Donde \hat{y} representa la sinéresis del mezcla de hidrocoloides estimada o predicha (g); mientras que A , B , C y D corresponden a los porcentajes de carragenina, goma guar, goma tara y goma konjac, respectivamente, presentes en la mezcla.

Tabla 9: Resultados de la sinéresis de la mezcla de hidrocoloides en los puntos observados

Corrida	Carragenina (%)	Tara (%)	Guar (%)	Konjac (%)	Sinéresis (g)
1	60.00	0.00	0.00	40.00	13.72
2	60.00	0.00	40.00	0.00	30.47

«continuación»

3	70.06	9.55	0.00	20.39	8.08
4	80.00	0.00	2.36	17.64	5.14
5	60.00	40.00	0.00	0.00	36.91
6	77.85	0.00	22.15	0.00	15.26
7	60.00	18.20	0.00	21.80	10.69
8	60.00	0.00	40.00	0.00	30.11
9	60.00	40.00	0.00	0.00	36.45
10	60.00	0.00	28.25	11.75	10.43
11	60.00	18.20	0.00	21.80	10.51
12	60.00	0.61	13.79	25.60	13.66
13	60.00	22.47	17.53	0.00	20.89
14	68.07	9.62	13.55	8.76	7.73
15	80.00	8.03	6.98	4.98	7.62
16	60.00	22.47	17.53	0.00	20.84
17	80.00	20.00	0.00	0.00	16.91
18	60.00	0.00	0.00	40.00	13.78
19	70.48	0.00	11.94	17.58	15.18
20	65.66	25.53	1.37	7.44	18.13

Los resultados del ANVA de dicho modelo se muestran en el Tabla 10.

Tabla 10: Resumen de resultados ANVA de la sinéresis del gel

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Media Cuadrática	Valor F	Valor P Prob > F	Resultado
Modelo	1619.01	9.00	179.89	18.36	< 0.0001	Significativo

Utilizando el criterio mencionado por Salazar (2006), 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; la significancia del coeficiente en cuestión queda establecida, se puede afirmar que los coeficientes son altamente significativos, tanto 95 por ciento como al 99 por ciento de nivel de confianza, puesto que el valor p es inferior a 0.0001; lo que implica que

el modelo es adecuado incluso para el más exigente nivel de confianza.

Adicionalmente, se puede afirmar que el experimento tuvo buena reproducibilidad, ya que según los resultados presentados en el Tabla 11, la suma de cuadrados del error puro es menor en comparación con la suma de cuadrados total. Al respecto Cornell (2002) señala que esta interpretación es válida, ya que para la determinación de la suma de cuadrados del error puro se utilizan las repeticiones consideradas en el diseño experimental. Gunawan *et al.* (2005) proponen la misma interpretación para esta fuente de variabilidad.

Tabla 11: Resumen de resultados de Suma de errores cuadrados de sinéresis del gel

Fuente	Suma de Cuadrados
Modelo	1619.01
Falta de ajuste	97.82
Error Puro	0.19
Error Total	1717.01

Considerando el coeficiente de determinación (R^2), se puede establecer que el 94.29 por ciento de la variación en la respuesta es explicada por el modelo seleccionado. Con este valor se puede afirmar que el modelo es significativo; siendo además suficiente para representar la relación existente entre la respuesta (sinéresis) y las variables estudiadas (carragenina, goma guar, goma tara y goma konjac). Por otro lado, con referencia al coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}), según Gao y Jiang (2005), y Aktas (2005) citados por Salazar (2006), mencionan el uso en reemplazo de R^2 como una medida de bondad de ajuste de la ecuación de regresión a las observaciones experimentales, mencionando que cuando su valor es cercano a 1, el grado de correlación entre los valores observados y predichos por el modelo es alta. En tal sentido, de acuerdo a lo mencionado por Salazar (2006), que el valor R^2_{adj} registrado (0.8915), el modelo de la Ecuación (16) se ajusta de manera adecuada a los datos experimentales referidos en el Tabla 10.

4.2.2. EFECTO DE LOS INGREDIENTES SOBRE LA SINÉRESIS

Las Figuras 19 y 20 muestran la superficie de respuesta y el ploteo de contornos, respectivamente, para la sinéresis, en función del porcentaje de carragenina (A), goma guar (B), goma tara (C) y goma konjac (D). Tal como podemos apreciar en ambas figuras la tonalidad cambia de azul a verde y de verde a rojo en función al incremento de la variable respuesta; siendo azul los niveles más bajos, verde valores intermedios y rojos los valores más altos. En caso de la sinéresis se busca minimizar la variable respuesta, en tal sentido se encuentra como el punto más bajo 5.13 g donde la carragenina se mantiene en un 60.27 por ciento de participación en mezcla final y permite apreciar la influencia del resto de componentes desde un 0 por ciento hasta el 39.73 por ciento; señalando por tanto que la minimización buscada para la variable respuesta sinéresis se da en función al aumento de la goma konjac, pero no en niveles altos de proporción en la mezcla ya que se consigue el efecto apuesto. Posterior a la goma konjac se presenta la goma tara y finalmente la goma guar.

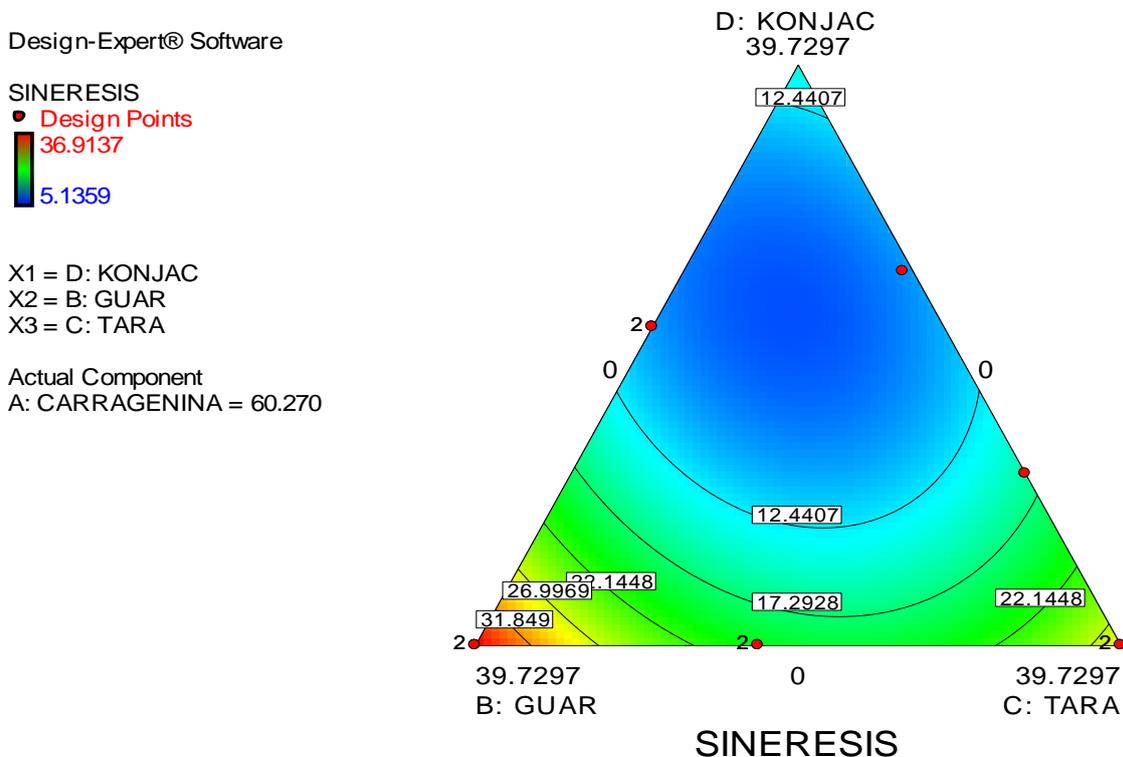


Figura 19: Ploteo de contornos de sinéresis de los componentes carragenina (60.27%), goma konjac, goma guar y goma de tara.

Design-Expert® Software

SINERESIS



X1 = D: KONJAC
X2 = B: GUAR
X3 = C: TARA

Actual Component
A: CARRAGENINA = 60.270

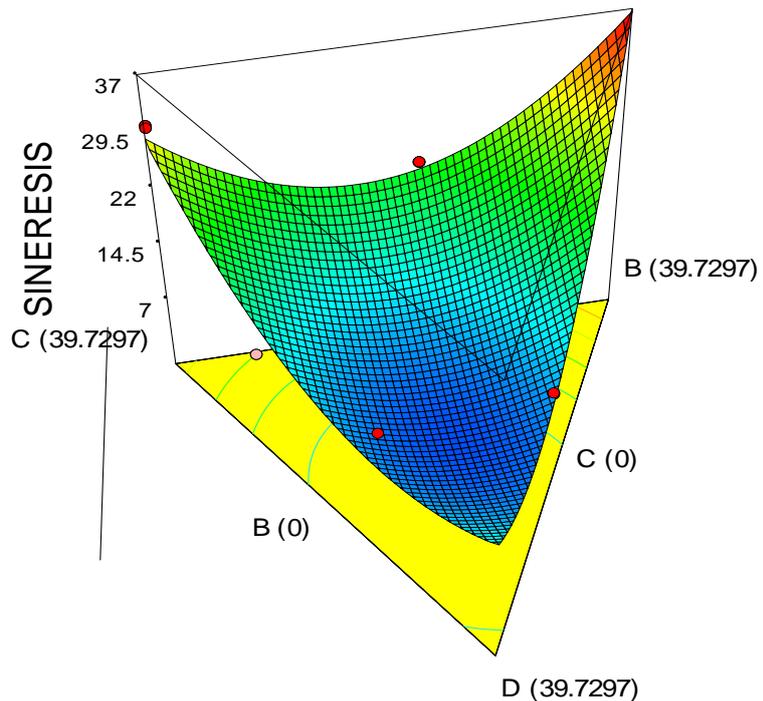


Figura 20: Superficie de respuesta de sinéresis de los componentes carragenina (60.27%), goma konjac, goma guar y goma de tara.

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 21.

De acuerdo a Cornell (2002) se puede apreciar en el trazo de carragenina (A), valores altos de sinéresis cuando su participación es menor en la mezcla inicialmente; es más dado que tiene un pendiente positiva, conforme aumenta su proporción en la mezcla llega a un pico de sinéresis, posterior a ello la pendiente se vuelve negativa y a niveles mayores de carragenina (A) en la mezcla disminuyen los valores de la variable respuesta. Cabe resaltar que en la mayor parte del trazo de cox la pendiente es negativa y al final presenta una pendiente más negativa aún que la konjac (D) y por tanto en proporciones mayores de carragenina en la mezcla se logra minimizar la sinéresis.

En el caso de la goma guar (B) presenta un trazo de Cox con la pendiente positiva marcada, desde un inicio los valores obtenidos son altos y luego incrementa constantemente en función

al aumento de la proporción de goma guar (B), lo cual indica que en lugar de minimizar la sinéresis la maximiza. En comparación con la goma tara que tiene un comportamiento similar, la goma guar (B) al presentar una pendiente positiva más marcada, es la que peores resultados otorga en sinéresis con valores máximos muestreados de 36.91 g.

En el trazo de cox de la goma de tara (C), al igual que en el caso de la goma guar (B) presenta una pendiente positiva pero no tan pronunciada como esta última, por ella los valores finales conseguidos con goma tara son menores a pesar que inicialmente los valores eran superiores a los de la goma guar (B). Se muestra que conforme se incrementa la proporción de goma de tara (C) en la mezcla también aumentan los valores de la variable respuesta lo cual resulta perjudicial para el objetivo de minimización de la sinéresis ya que por el contrario al igual que la goma guar (B) la maximiza.

En el caso de la goma konjac es totalmente opuesto al caso de la goma guar (B) y goma tara (C), ya que sus resultados presentan una pendiente negativa, considerando que empieza con valores más altos incluso que la goma de tara los resultados obtenidos finalmente son uno de los menores junto con carragenina; la pendiente negativa marcada indica que en la medida que se aumente la proporción de goma konjac en la muestra los resultados serán mejores porque los valores se reducen y por tanto se consigue minimizar la sinéresis en la mezcla.

Según Ayadi *et al.* (2009), los hidrocoloides tienen la capacidad de mejorar la retención de agua debido a su capacidad natural de formar geles, en contraste con los resultados podemos indicar que tanto la carragenina y la goma konjac tienen esta característica más pronunciada a comparación de la goma guar y de la goma tara; por esta razón los resultados en sinéresis son menores conforme se incrementa su participación en la mezcla. Cabe resaltar que dicho comportamiento se encuentra también identificado en el punto 4.1.2., donde se menciona que los geles más fuertes son los de goma konjac y carragenina, los que a su vez han reportado los valores más bajos sinéresis. Es decir, los geles donde la carragenina y konjac tenían un mayor participación se han obtenido resultados de fuerza de gel superiores así como también resultados de sinéresis más bajos coincidiendo con lo mencionado por Ayadi *et al.* (2009) inicialmente.

Design-Expert® Software

SINERESIS

Actual Components

A: CARRAGENINA = 71.081

B: GUAR = 13.784

C: TARA = 8.108

D: KONJAC = 7.027

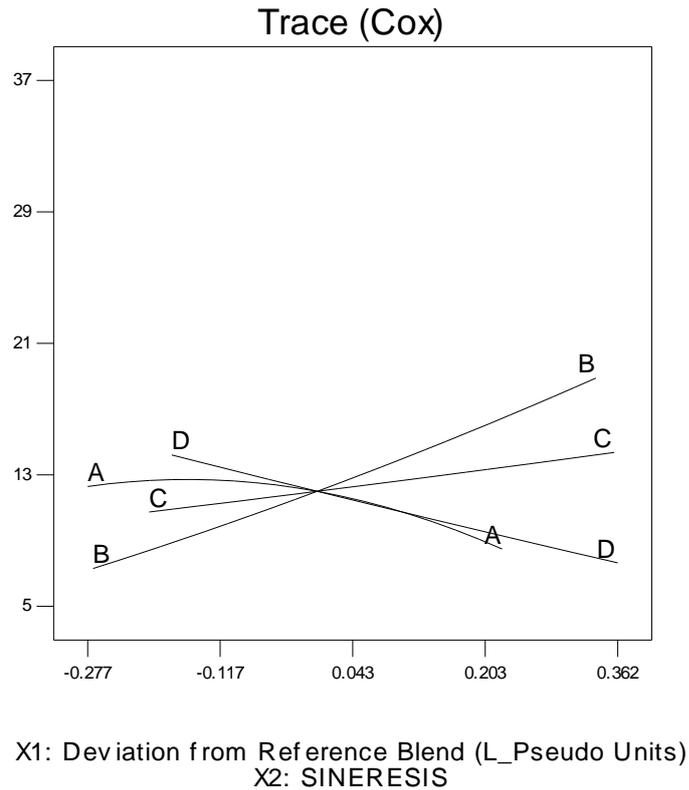


Figura 21: Trazos de cox sinéresis de los componentes carragenina, goma konjac, goma guar y goma de tara.

Si bien todas las mezclas parten con una base de 60 por ciento de carragenina, lo cual nos asegura la formación del gel y por tanto un valor de sinéresis determinado para el inicio de las pruebas, ya que según Ayadi *et al.* (2009) la carragenina posee la capacidad de mejorar la retención de agua en las mezclas, la sinéresis se ve afectada en los casos de participación de goma guar (B) y de goma tara (C), donde el comportamiento de la goma tara es superior al de la goma guar, ya que esta última presenta los valores más altos de sinéresis.

Sin embargo, conforme la participación de la goma guar (B) y de la goma de tara (C) se reducen y a su vez aumenta la proporción de carragenina (A) y konjac (D) en la composición de la mezcla, los valores de sinéresis disminuyen; encontrándose los resultados más bajos cuando aumenta en la mezcla el porcentaje de konjac (D), lo cual según Adisak (2002), se debe la presencia de los glucomananos que tiene este componente lo cual le otorga la capacidad de ser un agente gelificante y a su vez de retención de agua. Sin embargo podemos

observar que la sinéresis se ve mejorada hasta cierto punto por la goma konjac (D) debido a que porcentajes muy altos de este componente forman geles muy rígidos lo cual afecta a su capacidad para poder retener el agua y por tanto los valores de sinéresis aumentan al final.

4.3. COSTOS DE FOMULACIÓN DE LA MEZCLA DE HIDROCOLOIDES

4.3.1 ESTABLECIMIENTO DEL MODELO MATEMÁTICO Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

En el Tabla 12 se aprecia los costos constantes correspondientes a la formulación del hidrocoloide, los cuales fueron obtenidos de la base de datos de compras de la empresa Quimtia S.A.

Tabla 12: Costos de los hidrocoloides

Hidrocoloide	USD
Carragenina	7
Goma Guar	20
Goma Tara	8.58
Goma Konjac	11.2

FUENTE: Tomado de Quimtia SA 2013.

Los valores observados de costos de la mezcla de hidrocoloides, correspondientes a cada una de las formulaciones trabajadas en la investigación, son presentados en el Tabla 13.

Tabla 13: Resultados del costo de la mezcla de hidrocoloides en los puntos observados

Corrida	Carragenina (%)	Tara (%)	Guar (%)	Konjac (%)	Costo (USD)
1	60.00	0.00	0.00	40.00	8.68
2	60.00	0.00	40.00	0.00	7.63
3	70.06	9.55	0.00	20.39	9.10

«continuación»

4	80.00	0.00	2.36	17.64	7.78
5	60.00	40.00	0.00	0.00	12.20
6	77.85	0.00	22.15	0.00	7.35
7	60.00	18.20	0.00	21.80	10.28
8	60.00	0.00	40.00	0.00	7.63
9	60.00	40.00	0.00	0.00	12.20
10	60.00	0.00	28.25	11.75	7.94
11	60.00	18.20	0.00	21.80	10.28
12	60.00	0.61	13.79	25.60	8.37
13	60.00	22.47	17.53	0.00	10.20
14	68.07	9.62	13.55	8.76	8.83
15	80.00	8.03	6.98	4.98	8.36
16	60.00	22.47	17.53	0.00	10.20
17	80.00	20.00	0.00	0.00	9.60
18	60.00	0.00	0.00	40.00	8.68
19	70.48	0.00	11.94	17.58	7.93
20	65.66	25.53	1.37	7.44	10.65

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

$$\hat{y} = 7.00*A + 20.00*B + 8.58*C + 11.20*D \quad (17)$$

Donde \hat{y} representa el costo de la mezcla de hidrocoloides estimado o predicho (USD); mientras que A , B , C y D corresponden a los porcentajes de carragenina, goma guar, goma tara y goma konjac, respectivamente, presentes en la mezcla.

Los resultados del ANVA de dicho modelo se muestran en el Tabla 14.

Tabla 14: Resumen de resultados ANVA del costo de la mezcla

Fuente	Suma de Cuadrados	Grados de libertad	Media Cuadrática	Valor F	Valor P Prob > F	Resultado
Modelo	40.24	3.00	13.41	63 660 000.00	< 0.0001	Significativo

Utilizando el criterio mencionado por Salazar (2006), 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; la significancia del coeficiente en cuestión queda establecida, se puede afirmar que los coeficientes son altamente significativos, tanto 95 por ciento como al 99 por ciento de nivel de confianza, puesto que el valor p es inferior a 0.0001; lo que implica que el modelo es adecuado incluso para el más exigente nivel de confianza.

Adicionalmente, se puede afirmar que el experimento tuvo buena reproducibilidad, ya que según los resultados presentados en el Tabla 15, la suma de cuadrados del error puro es menor en comparación con la suma de cuadrados total. Al respecto Cornell (2002) señala que esta interpretación es válida, ya que para la determinación de la suma de cuadrados del error puro se utilizan las repeticiones consideradas en el diseño experimental. Gunawan *et al.* (2005) proponen la misma interpretación para esta fuente de variabilidad.

Tabla 15: Resumen de resultados de la Suma de Errores Cuadrados del costo de la mezcla

Fuente	Suma de Cuadrados
Modelo	40.24
Falta de Ajuste	0.00
Error Puro	0.00
Error Total	40.24

Considerando el coeficiente de determinación (R^2), se puede establecer que el 100.00 por ciento de la variación en la respuesta es explicada por el modelo seleccionado. Con este valor se puede afirmar que el modelo es significativo; siendo además suficiente para representar la relación existente entre la respuesta (costo) y las variables estudiadas (carragenina, goma guar, goma tara y goma konjac). Por otro lado, con referencia al coeficiente de determinación

ajustado (R^2_{adj}), según Salazar (2006), el uso en reemplazo de R^2 como una medida de bondad de ajuste de la ecuación de regresión a las observaciones experimentales, mencionando que cuando su valor es cercano a 1, el grado de correlación entre los valores observados y predichos por el modelo es alta. En tal sentido, de acuerdo a lo mencionado por Salazar (2006), que el valor R^2_{adj} registrado (1.00), el modelo de la Ecuación (17) se ajusta de manera adecuada a los datos experimentales referidos en el Tabla 15.

4.3.2 EFECTO DE LOS INGREDIENTES SOBRE EL COSTO

Las Figuras 22 y 23 muestran la superficie de respuesta y el ploteo de contornos, respectivamente, para el costo, en función del porcentaje de carragenina (A), goma guar (B), goma tara (C) y goma konjac (D). Tal como podemos apreciar en ambas figuras la tonalidad cambia de azul a verde y de verde a rojo en función al incremento de la variable respuesta; siendo azul los niveles más bajos, verde valores intermedios y rojos los valores más altos. En caso del costo se busca minimizar la variable respuesta, en tal sentido se encuentra como el punto más bajo USD 7.35 donde la carragenina (A) se mantiene en un 60.00 por ciento de participación en mezcla final y permite apreciar la influencia del resto de componentes desde un 0 por ciento hasta el 40.00 por ciento; señalando por tanto que la minimización buscada para la variable respuesta costo se da en función al aumento de la goma tara (C), posterior a ello konjac (D) y finalmente la goma guar (B).

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 24.

De acuerdo a Cornell (2002) se puede apreciar en el trazo de carragenina (A), que conforme aumenta su participación el costo de la mezcla disminuye, lo opuesto pasa con la goma guar (B) que es la materia prima más costosa en la formulación. Por otro lado la konjac (D) tiene un impacto mayor que el de la tara (C) pero menor que la goma guar (B), siendo por tanto la tara una de las mejores alternativas para la minimización de los costos de formulación de la mezcla de hidrocoloides.

Design-Expert® Software

COSTO
● Design Points
12.2
7.34992

X1 = D: KONJAC
X2 = B: GUAR
X3 = C: TARA

Actual Component
A: CARRAGENINA = 60.000

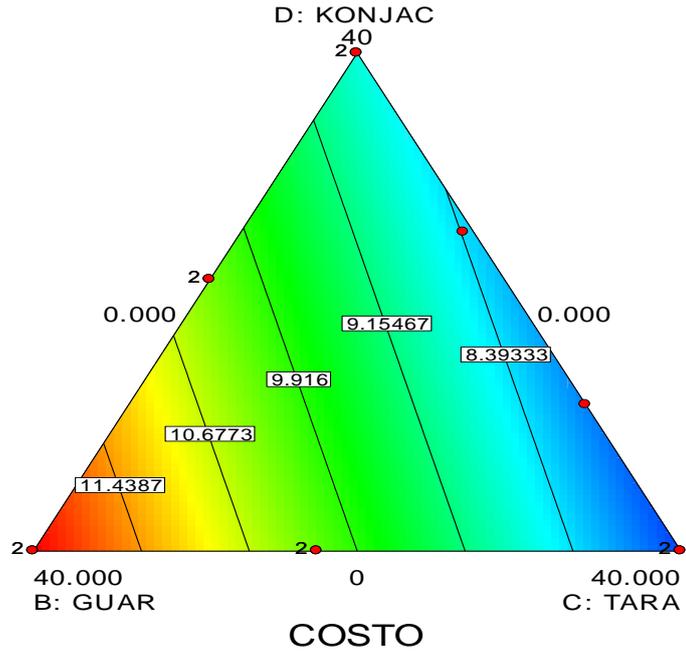


Figura 22: Ploteo de contornos del costo de la mezcla de los componentes carragenina (60%), goma konjac, goma guar y goma de tara.

Design-Expert® Software

COSTO
12.2
7.34992

X1 = D: KONJAC
X2 = B: GUAR
X3 = C: TARA

Actual Component
A: CARRAGENINA = 60.000

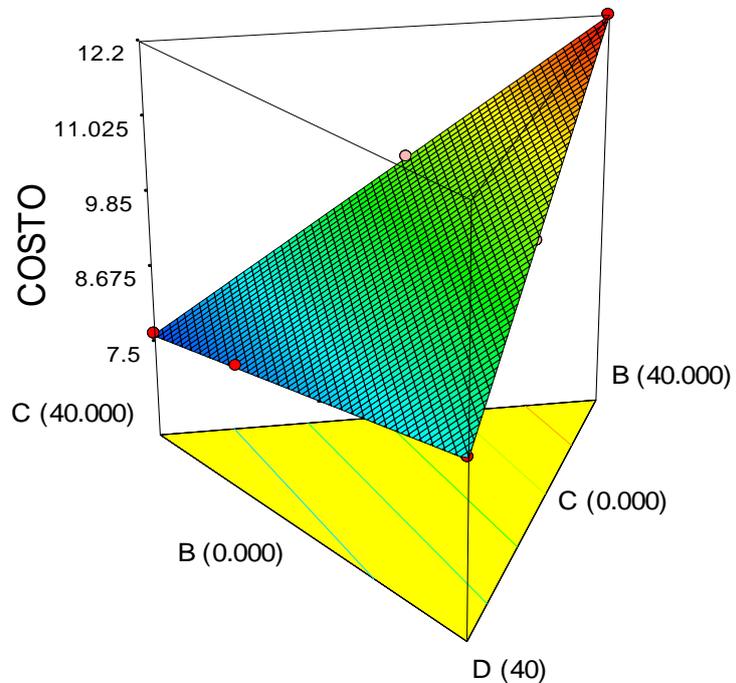


Figura 23: Superficie de respuesta del costo de la mezcla de los componentes carragenina (60%), goma konjac, goma guar y goma de tara.

Design-Expert® Software

COSTO

Actual Components

A: CARRAGENINA = 68.108

B: GUAR = 10.714

C: TARA = 10.463

D: KONJAC = 10.714

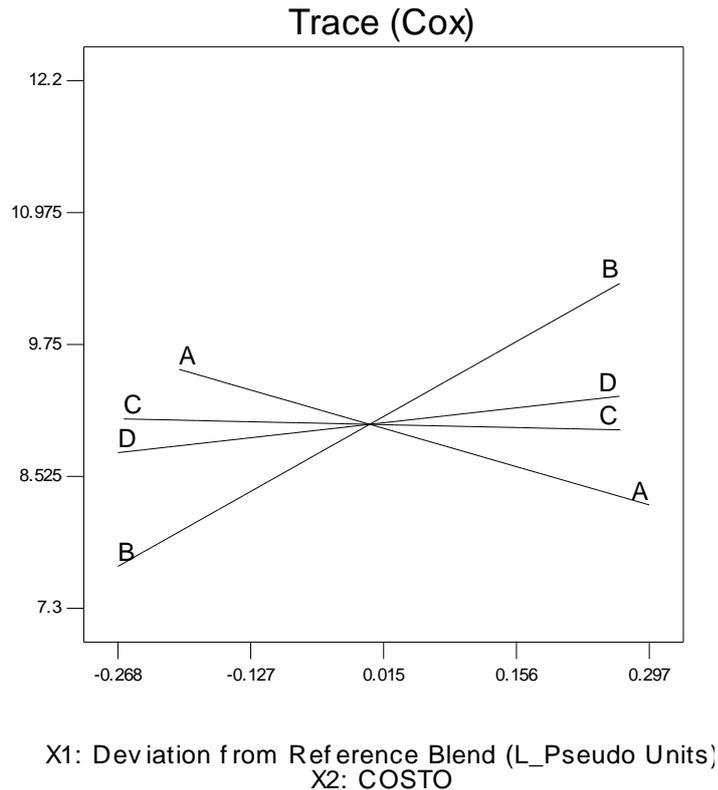


Figura 24: Trazos de cox del costo de los componentes carragenina, goma konjac, goma guar y goma de tara.

4.4. OPTIMIZACIÓN SIMULTÁNEA DE VARIABLES DE RESPUESTA

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 uno para el exponente t en la función de deseabilidad. Para realizar la optimización, no se aplicaron restricciones a las variables respuesta, es decir, se ha explorado los valores máximos y mínimos de cada variable dentro de la región experimental. Cabe resaltar que para los cálculos de la deseabilidad tanto la sinéresis como la fuerza de gel fueron consideradas con un peso de cinco puntos y el costo con un peso de un punto, ya que las restricciones sobre los ingredientes de la mezcla total dadas en las proporciones, detalladas en el Tabla 3, nos aseguran que el costo se mantendrá dentro de los parámetros comerciales de venta, sin embargo afectaría de manera directa al margen de utilidad que pueda generar el producto.

En el Tabla 16, presenta la formulación óptima recomendada por el Design-Expert[®], donde la mezcla denominada solución 1 presenta un valor de deseabilidad global de 0.84, siendo la formulación óptima constituida por 65.91 por ciento Carragenina y 34.09 por ciento goma konjac, la goma tara y goma guar fueron descartadas de la formulación debido a los bajos valores obtenidos en las pruebas de fuerza de gel y sinéresis tal como se hace referencia en los puntos 4.1.2. y 4.2.2., siendo estos resultados claves para obtener una mayor deseabilidad ya que ambas variables respuesta son las que tienen mayor ponderación. Lo cual estaría de acuerdo con lo presentado por Adisak (2002), donde los picos más altos de fuerza de gel en sus formulaciones de carragenina con goma konjac fueron de 0.6:0.4. Sin embargo, cabe resaltar que en nuestra investigación también se midió la variable respuesta sinéresis por lo que los porcentajes de formulación de tuvieron que ser ligeramente menores a los recomendados por Adisak (2002), ya que tal como se observa en las Figuras 19 y 20, porcentajes de formulaciones cercanos a dichos valores presentan resultados de sinéresis más altos.

Tabla 16: Formulación óptima de la mezcla de hidrocoloides

SOLUCIÓN	CARRAGENINA	GUAR	TARA	KONJAC	DESEABILIDAD
1	65.91	0.00	0.00	34.09	0.84

En la Figura 25, permite visualizar en el Triángulo Simplex, el punto óptimo de formulación (mayor deseabilidad), la Figura 26 el punto óptimo de fuerza del gel, la Figura 27 el punto óptimo de sinéresis y la Figura 28 el punto óptimo de costo. En todos los casos la proporción de los ingredientes considerada para las gráficas ha sido la detallada en el Tabla 16.

Design-Expert® Software

Desirability
● Design Points
1
0

X1 = D: KONJAC
X2 = B: GUAR
X3 = C: TARA

Actual Component
A: CARRAGENINA = 65.911

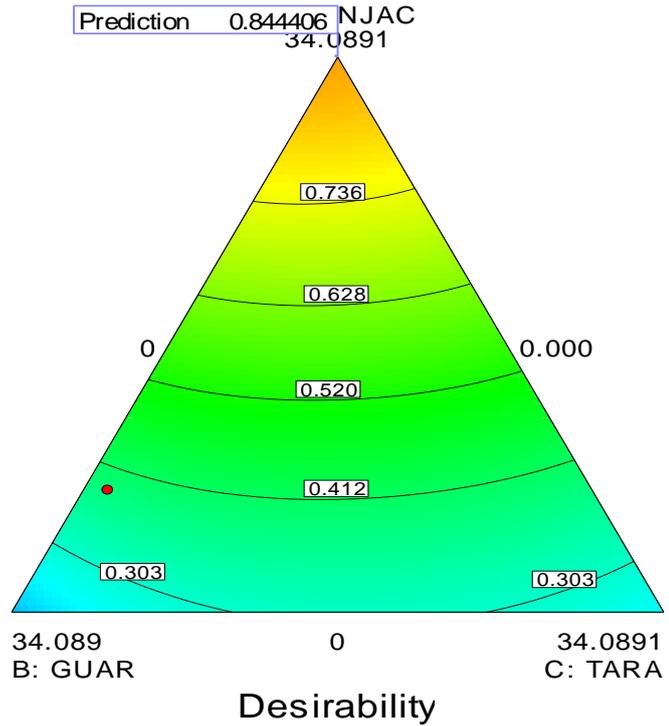


Figura 25: Deseabilidad y punto óptimo de los componentes carragenina (65.91%), goma konjac, goma guar y goma de tara.

Design-Expert® Software

FZAGEL
● Design Points
1374.33
232.333

X1 = D: KONJAC
X2 = B: GUAR
X3 = C: TARA

Actual Component
A: CARRAGENINA = 65.911

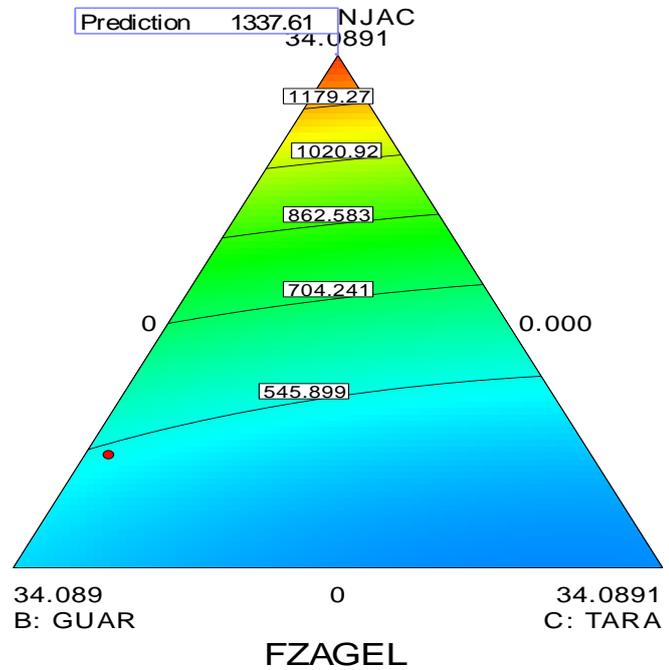


Figura 26: Fuerza de gel y punto óptimo de los componentes carragenina (65.91%), goma konjac, goma guar y goma de tara.

Design-Expert® Software

SINERESIS

● Design Points
36.9137

5.1359

X1 = D: KONJAC

X2 = B: GUAR

X3 = C: TARA

Actual Component

A: CARRAGENINA = 65.911

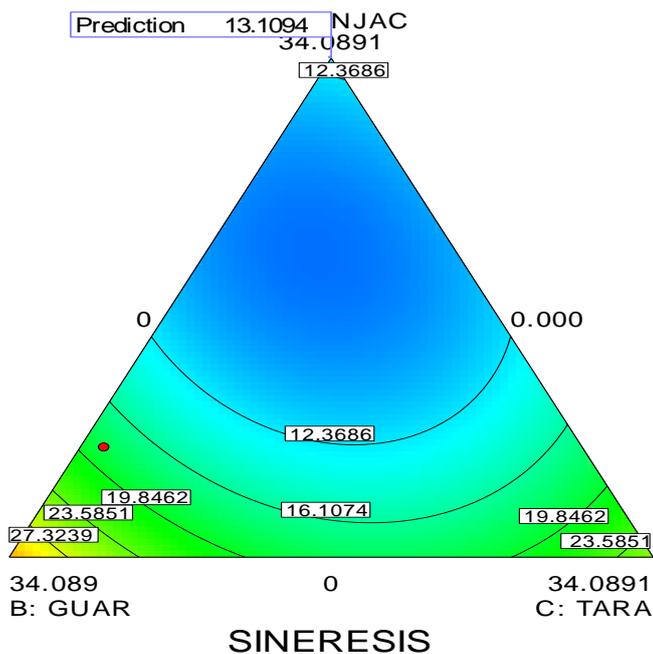


Figura 27: Sinéresis y punto óptimo de los componentes carragenina (65.91%), goma konjac, goma guar y goma de tara.

Design-Expert® Software

COSTO

● Design Points
12.2

7.34992

X1 = D: KONJAC

X2 = B: GUAR

X3 = C: TARA

Actual Component

A: CARRAGENINA = 65.911

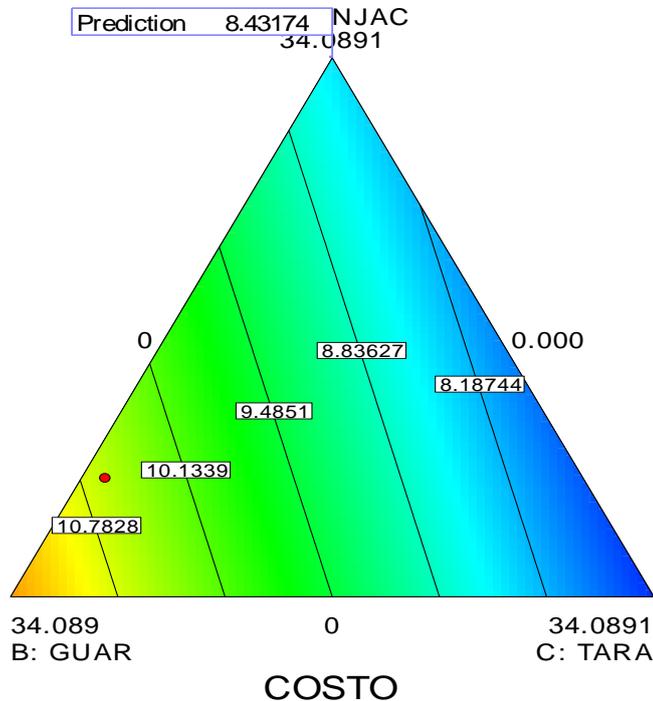


Figura 28: Costo y punto óptimo de los componentes carragenina (65.91%), goma konjac, goma guar y goma de tara.

4.5. VALIDACIÓN DEL PUNTO ÓPTIMO DE LA MEZCLA DE HIDROCOLOIDES

Luego de determinar la fórmula óptima se realizó una comparación de las variables respuesta fuerza de gel, sinéresis y costos determinadas por el programa estadístico Design-Expert®, comparándose los resultados del modelo con las pruebas experimentales del punto óptimo. En el Tabla 17 se aprecian las variaciones de estos resultados para la formulación recomendada por el programa.

Tabla 17: Comparación de resultados obtenidos con el programa *Desing Expert 9*® y prueba experimental

Desing Expert®	Fza gel	Sinéresis	Costo
		1337.61	13.11
Prueba experimental	Fza de gel	Sinéresis	Costo
	1319.40	13.33	8.43

En referencia a la fuerza gel y sinéresis se observa que los resultados del programa estadístico Design-Expert® difieren de los experimentales 18.21 y 0.22 y finalmente para el caso de los costos no existe variación, cabe resaltar que ligeras variaciones en los resultados de los productos se deben a factores dentro del proceso, tales como tratamiento térmico, grado de emulsificado, características de los ingredientes, etc. El programa Design-Expert® nos permite validar el punto óptimo mediante un prueba límites de control con la finalidad de evaluar si los resultados experimentales obtenidos presentan variaciones que puede admitir el modelo, tal como se puede apreciar en el Tabla 18, los resultados experimentales se encuentran dentro de los límites que el modelo requiere para ser validado.

Tabla 18: Rangos de validación de las variables respuesta en el punto óptimo

Respuesta	95% PI low	Data Mean	95% PI high
Fza de Gel	1284.45	1319.4	1391.47
Sinéresis	6.86	13.33	19.37
Costo	8.43	8.43	8.43

4.6. INFLUENCIA DE LA FORMULACIÓN ÓPTIMA DE LA MEZCLA DE HIDROCOLOIDES SOBRE LA DUREZA DEL *HOT DOG* ECONÓMICO

En la Figura 29, se muestran los resultados obtenidos de dureza del *hot dog* de formulación económica, y se puede encontrar diferencias significativas entre las aplicaciones de mezcla óptima al 0.0 por ciento, al 0.5 por ciento y 1.0 por ciento de dosificación, donde a medida que la dosificación de la mezcla de hidrocoloides óptima aumenta se observa que los valores de dureza en el producto terminado mejoran. Dichas diferencias significativas fueron validadas mediante la prueba de tuckey a un nivel de confianza de 95 por ciento, los resultados estadísticos se presentan en el anexo 13.

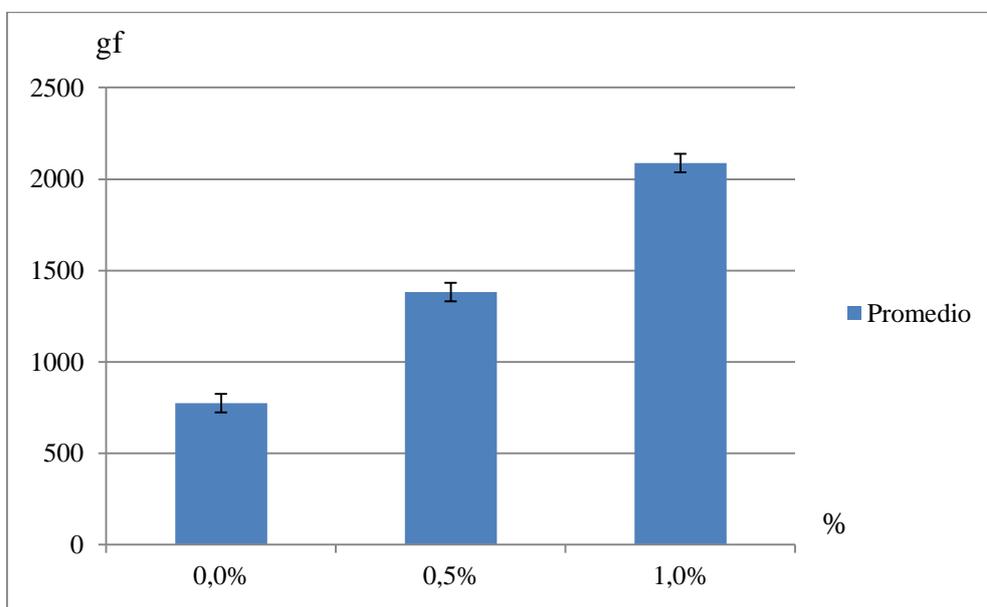


Figura 29: Resultados de la dureza del *hot dog* de formulación económica con diferentes porcentajes de aplicación de la mezcla óptima.

Según Ayadi *et al.* (2009), las propiedades funcionales de las proteínas alimenticias, tal como la solubilidad, formación de gel y capacidad emulsificante son afectadas por su interacción con polisacáridos. En tal sentido se evidencia que los polisacáridos como son la carragenina y la goma konjac han tenido una interacción sinérgica en cuanto a los resultados de dureza del *hot dog*. Más adelante Ayadi *et al.* (2009) menciona que en el caso de productos cárnicos formulados y cocidos las proteínas miofibrilares juegan un rol clave en durante el procesamiento por su capacidad de formar geles tridimensionales luego de su

calentamiento y subsecuente enfriamiento, el cual tiene una significativa influencia sobre lo sensorial, y las propiedades texturales de los productos procesados.

V. CONCLUSIONES

1. La formulación óptima de mezcla de hidrocoloides tuvo una composición de 65.91 por ciento de carragenina y 34.09 por ciento de goma konjac; siendo descartados los componentes goma tara y goma guar de la formulación.
2. La mezcla de hidrocoloides obtenida en la formulación óptima tuvo una fuerza de gel de 1337.61 gf, una sinéresis de 13.11 g y un costo de USD 8.43.
3. Para las variables respuesta fuerza de gel y sinéresis del gel en la mezcla de hidrocoloides; la carragenina, la goma konjac, la goma guar y la goma de tara tuvieron una tendencia cuadrática, con un efecto altamente significativo; obteniendo en los cuatro casos un $p < 0.0001$.
4. Para la variable respuesta costo en la mezcla de hidrocoloides; la carragenina, la goma konjac, la goma guar y la goma de tara tuvieron una tendencia lineal, con un efecto altamente significativo; obteniendo en los cuatro casos un $p < 0.0001$.
5. La aplicación de la mezcla óptima de hidrocoloides influyó en la dureza del *hot dog* mejorando dicho atributo de textura.

VI. RECOMENDACIONES

1. Realizar pruebas de diluciones de la mezcla óptima con la finalidad de minimizar el costo, restringiendo las variables respuesta fuerza de gel y sinéresis a niveles más bajos.
2. Realizar pruebas con otros hidrocoloides con la finalidad de encontrar sinergias con la carragenina y konjac que permiten mejorar la sinéresis aún más para así aprovechar al máximo la fuerza de gel alcanzada en el estudio o en su defecto superarla si se encuentran sinergias también en esta variable respuesta.
3. Realizar pruebas aplicativas de la mezcla óptima en *hot dog* pero a diferentes niveles de concentración con la finalidad de encontrar la dosis óptima en la formulación que maximice la dureza del *hot dog*.
4. Realizar pruebas aplicativas en otras matrices alimentarias con la finalidad de encontrar nuevas aplicaciones.
5. Dado que los costos son constantes se recomienda trabajar esta variable con programación lineal en lugar del diseño de mezclas.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adisak. 2002. Viscosity y and gel formation of a konjac flour from *amorphophallus oncophyllus*. Bangkok, Tailandia, Universidad de la cámara de comercio tailandesa.
- Atkinson, A; Donev, A; Tobias, R. 2007. Optimum experimental designs, with SAS. 1 ed, New York, Estados Unidos. p.221-247.
- Ayadi M; Kechaou A; Makni I; Attia H. 2009. Influence of carragenan addition on turkey meat sausages properties. *Journal of food engineering* 93(3):278–283.
- Bolívar, C. 2009. Monografía sobre el galactomanano del grano de café y su importancia en el procesamiento para la obtención de café soluble. Pereira, Colombia, Universidad Tecnológica de Pereira.
- Chan, S; Mirhosseini, S; Farah, S; Tan, C. 2011. Comparative study on physical properties of κ -carrageenan extracted from *Eucheumacottonii* in Tawau, Sabah and commercial κ -carrageenan. *In Annual Symposium on Sustainability Science and Management* (2011, Selangor, Malasia).
- Chengdu Newstar Konjac. 2010. Ficha técnica goma konjac. Shanghai, China.
- Cofrades, S; López-López, I; Solas, M; Bravo, L; Jimenez-Colmenero, F. 2008. Influence of different types and proportions of added edible seaweeds on characteristics of low-salt gel/emulsion meat systems. *Meat science* 79:767-776.

- Cornell, J. 2002. Experiments with mixtures: designs models and the analysis of mixture Data. 3 ed. New York, Estados Unidos, Willey. 649p.
- Cubero, N; Monferrer, A; Villalta, J. 2002. Aditivos alimentarios. Madrid, España, Grupo Mundi Prensa.
- Dingstad, G; Kubberod, E; Naes, T; Egelanddal, B. 2005. Critical quality constraints of sensory attributes in frankfurter-type sausages, to be applied in the optimization models. LWT 38:665–676.
- Gadiyaram, K; Kannan, G. 2004. Comparison of textural properties of low-fat chevon, beef, pork, and mixed-meat sausages. South African Journal of Animal Science, 34 (1):212–214.
- Gunawan, E; Basri, M; Rahman, M; Salleh, A; Rahman, R. 2005. Study on response surface methodology (RSM) of lipase-catalyzed synthesis of palm-based wax ester. Enzyme and Microbial Technology 37(7):739-744.
- Gutiérrez, H; De la Vara, R. 2008. Análisis y diseño de experimentos. México DF, México, McGraw-Hill Interamericana.
- Hare, L. 1974. Mixture designs applied to food formulations. Food Technology 28(3):50-162.
- Minitab user's guide 2. 1998. Minitab.
- Montgomery, D. 2002. Diseño de análisis de experimentos. 2 ed. México DF, México, Limusa Wiley.

- Mugumura, M; Tsuruoka, K; Katayama, K; Erwanto, Y; Kawahara, S; Yamauchi, K; Sathe S; Soeda, T. 2003. Soybean and milk proteins modified by transglutaminase improves chicken sausage texture even at reduce levels of polifosfate. *Meat Science* 63:191–197.
- Peng, W; Xing-Lian, X; Guang-Hong, Z. 2009. Effects of meat and phosphate level on water-holding capacity and texture of emulsion-type sausage during storage. *Science direct agricultural sciences in china* 8(12):1475-1481.
- Philippine Bio-Industries. 2013. Ficha técnica de carragenina. Makati, Filipinas.
- Quimtia. 2013. Base de datos de compras SAP® 6.0. Lima, Perú.
- Razavi, S; Mohammadi, T. 2011. Influence of different substitution levels of lallemania royleana seed gum on textural characteristics of selected hydrocolloids. *Electronic journal of environmental, agriculture and food chemistry. EJEAFChe* 10(8):2676-2688.
- Rosenthal, J. 2001. *Textura de los alimentos. Medida y percepción.* Zaragoza, España, Acribia.
- Salazar, A. 2006. Optimización del nivel de sustitución de tejido graso de cerdo por inulina en la formulación de un paté bajo en grasa. Tesis Ing. Lima, Perú, UNALM.
- Silva Team. 2010. Ficha técnica goma guar. Cuneo, Italia.
- Tavares, A; Mendes, E; Thaís, J; Pereira, G; De Lemos, A; Rogério, P. 2011. Effects of the addition of mechanically deboned poultry meat and collagen fibers on quality characteristics of frankfurter-type sausages. *Meat science* 89:519–525.
- Tecnacorp. 2011. Ficha técnica goma de tara. Lima, Perú.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1: TRAZOS DE COX RANGE IN DE FUERZA DE GEL

Design-Expert® Software

FZAGEL

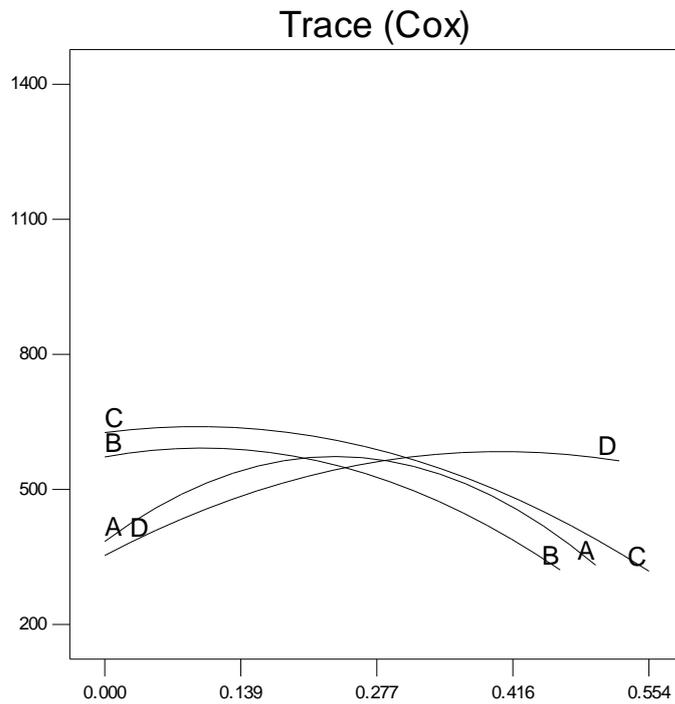
Actual Components

A: CARRAGENINA = 67.297

B: GUAR = 8.649

C: TARA = 12.703

D: KONJAC = 11.351



X1: Component Range in L_Pseudo Units
X2: FZAGEL

ANEXO 2: GRÁFICA DE DOS COMPONENTES EN LA MEZCLA EN LA EVALUACIÓN DE FUERZA DE GEL, CARRAGENINA Y GUAR

Design-Expert® Software

FZAGEL

◆ DesignPoints

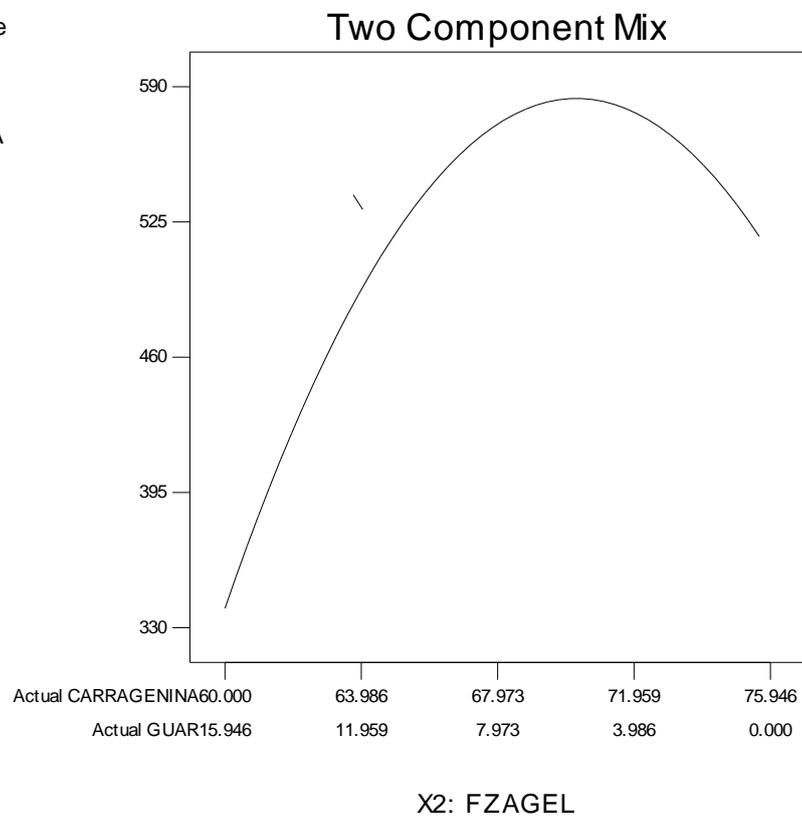
X1 = A: CARRAGENINA

X2 = B: GUAR

Actual Components

C: TARA = 12.703

D: KONJAC = 11.351



ANEXO 3: GRÁFICA DE DOS COMPONENTES EN LA MEZCLA EN LA EVALUACIÓN DE FUERZA DE GEL, CARRAGENINA Y TARA

Design-Expert® Software

FZAGEL

◆ DesignPoints

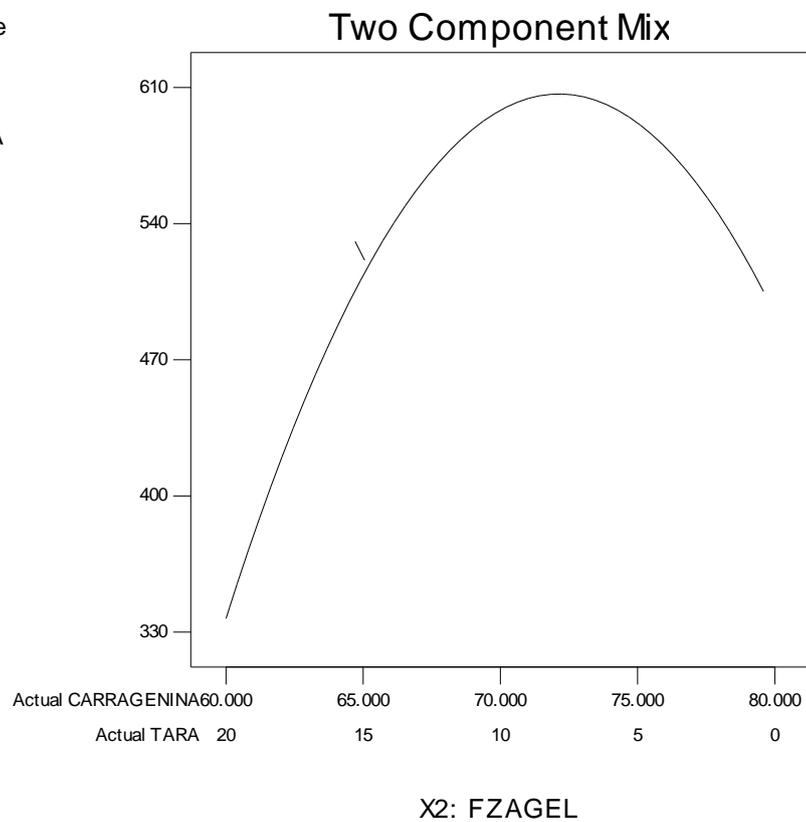
X1 = A: CARRAGENINA

X2 = C: TARA

Actual Components

B: GUAR = 8.649

D: KONJAC = 11.351



ANEXO 4: GRÁFICA DE DOS COMPONENTES EN LA MEZCLA EN LA EVALUACIÓN DE FUERZA DE GEL, GUAR Y KONJAC

Design-Expert® Software

FZAGEL

◆ DesignPoints

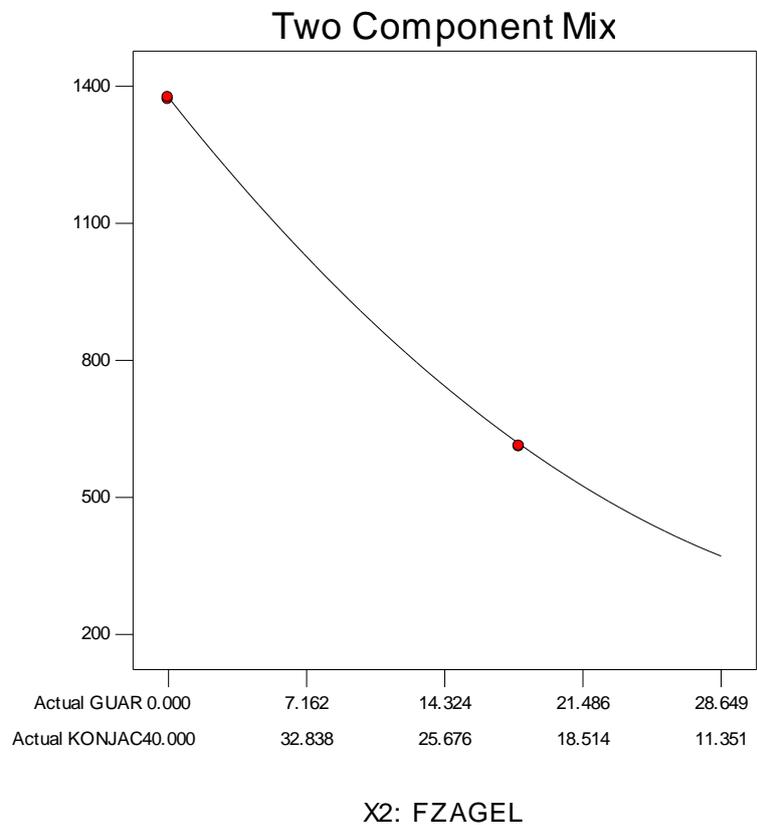
X1 = B: GUAR

X2 = D: KONJAC

Actual Components

A: CARRAGENINA = 60.000

C: TARA = 0.000



ANEXO 5: GRÁFICA DE DOS COMPONENTES EN LA MEZCLA EN LA EVALUACIÓN DE FUERZA DE GEL, CARRAGENINA Y KONJAC

Design-Expert® Software

FZAGEL

◆ DesignPoints

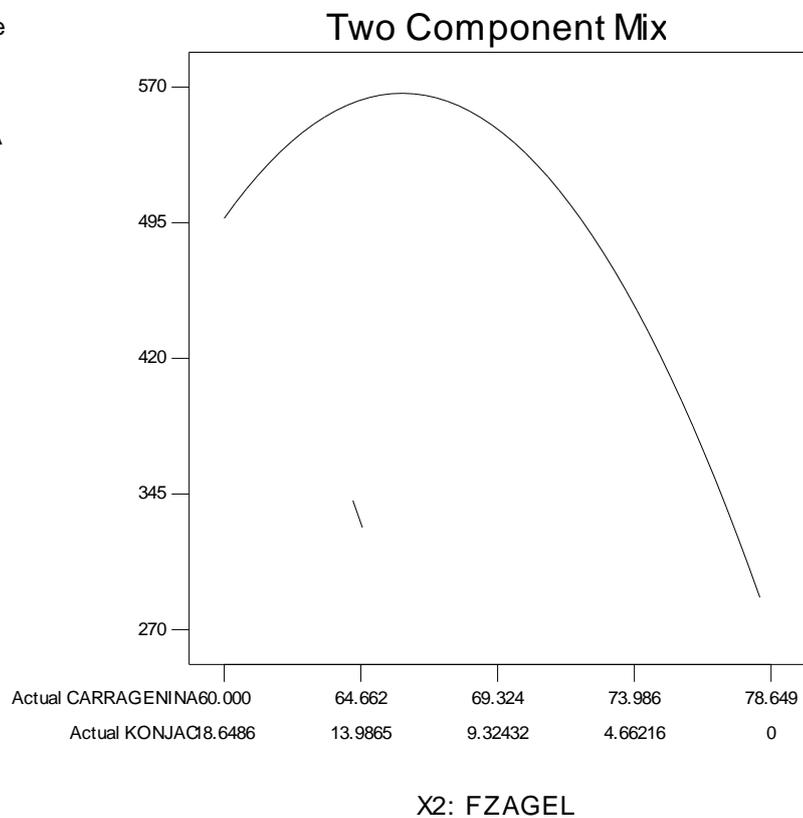
X1 = A: CARRAGENINA

X2 = D: KONJAC

Actual Components

B: GUAR = 8.649

C: TARA = 12.703



ANEXO 6: TRAZOS DE COX RANGE IN DE SINÉRESIS

Design-Expert® Software

SINERESIS

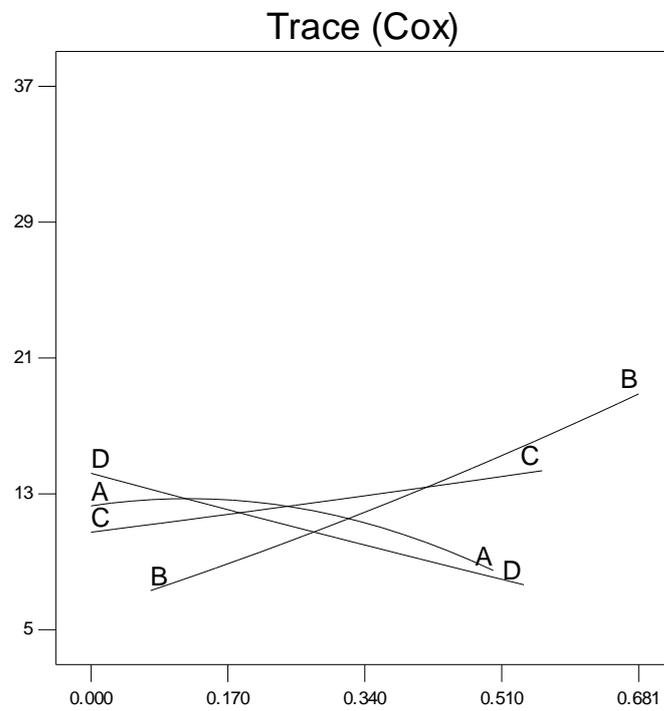
Actual Components

A: CARRAGENINA = 71.081

B: GUAR = 13.784

C: TARA = 8.108

D: KONJAC = 7.027



X1: Component Range in L_Pseudo Units
X2: SINERESIS

ANEXO 7: GRÁFICA DE DOS COMPONENTES EN LA MEZCLA EN LA EVALUACIÓN DE SINÉRESIS, CARRAGENINA Y GUAR

Design-Expert® Software

SINERESIS

◆ DesignPoints

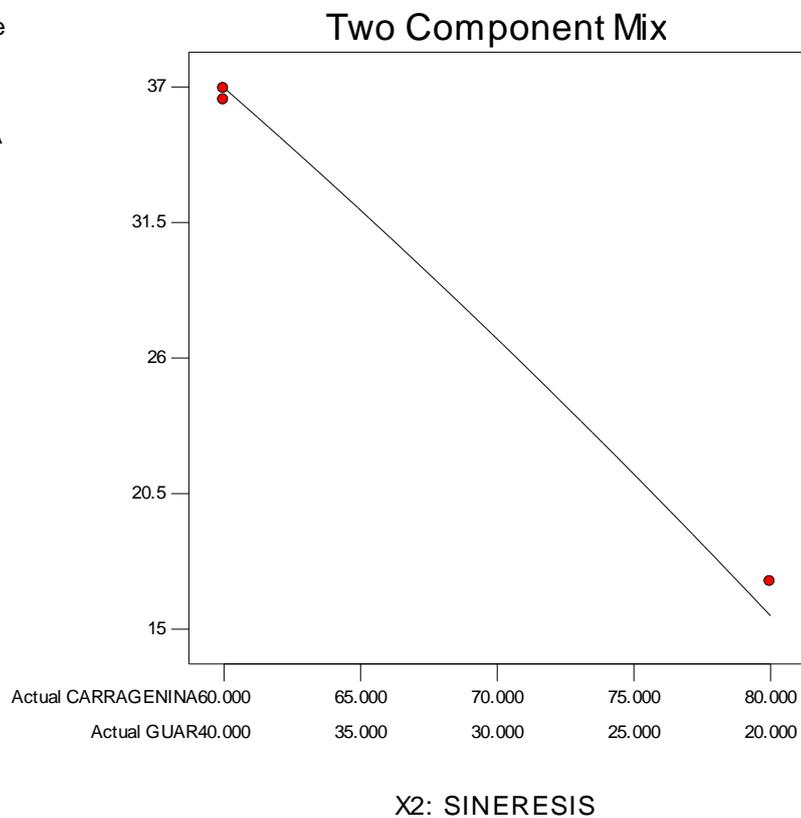
X1 = A: CARRAGENINA

X2 = B: GUAR

Actual Components

C: TARA = 0.000

D: KONJAC = 0.000



ANEXO 8: GRÁFICA DE DOS COMPONENTES EN LA MEZCLA EN LA EVALUACIÓN DE SINÉRESIS, CARRAGENINA Y TARA

Design-Expert® Software

SINERESIS

◆ DesignPoints

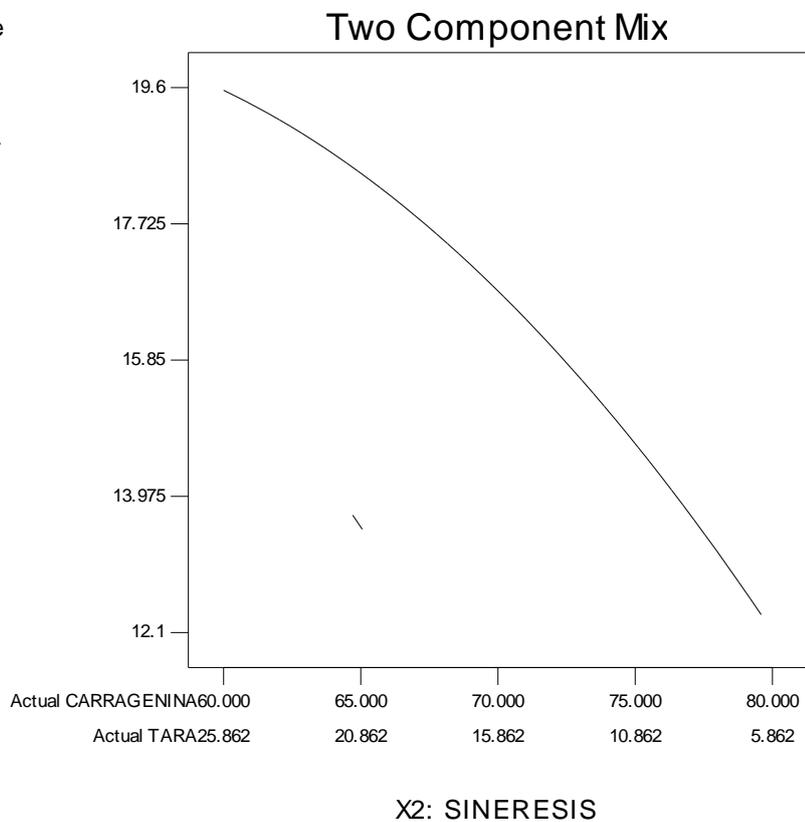
X1 = A: CARRAGENINA

X2 = C: TARA

Actual Components

B: GUAR = 14.138

D: KONJAC = 0.000



ANEXO 9: GRÁFICA DE DOS COMPONENTES EN LA MEZCLA EN LA EVALUACIÓN DE SINÉRESIS, CARRAGENINA Y KONJAC

Design-Expert® Software

SINERESIS

◆ DesignPoints

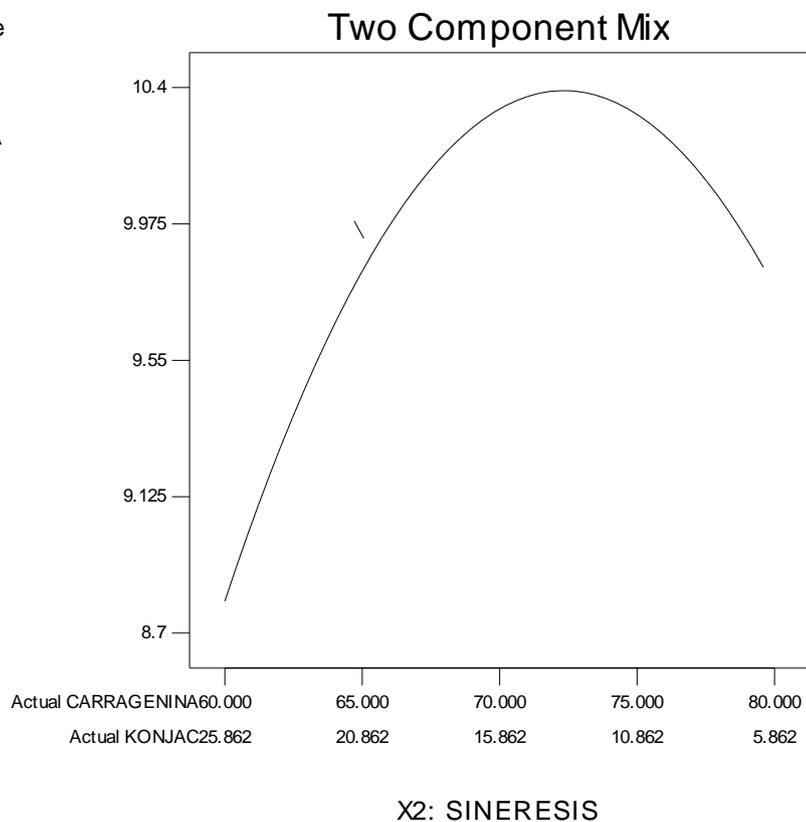
X1 = A: CARRAGENINA

X2 = D: KONJAC

Actual Components

B: GUAR = 14.138

C: TARA = 0.000



ANEXO 10: TRAZOS DE COX RANGE IN DE COSTOS

Design-Expert® Software

COSTO

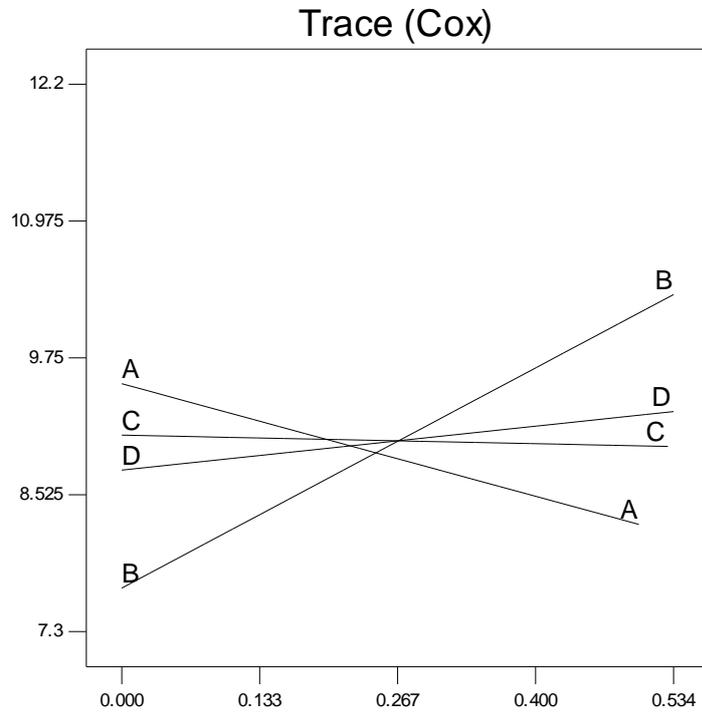
Actual Components

A: CARRAGENINA = 68.108

B: GUAR = 10.714

C: TARA = 10.463

D: KONJAC = 10.714



X1: Component Range in L_Pseudo Units
X2: COSTO

ANEXO 11: GRÁFICO DE SUPERFICIE DE RESPUESTA DE LA DESEABILIDAD

Design-Expert® Software

Desirability



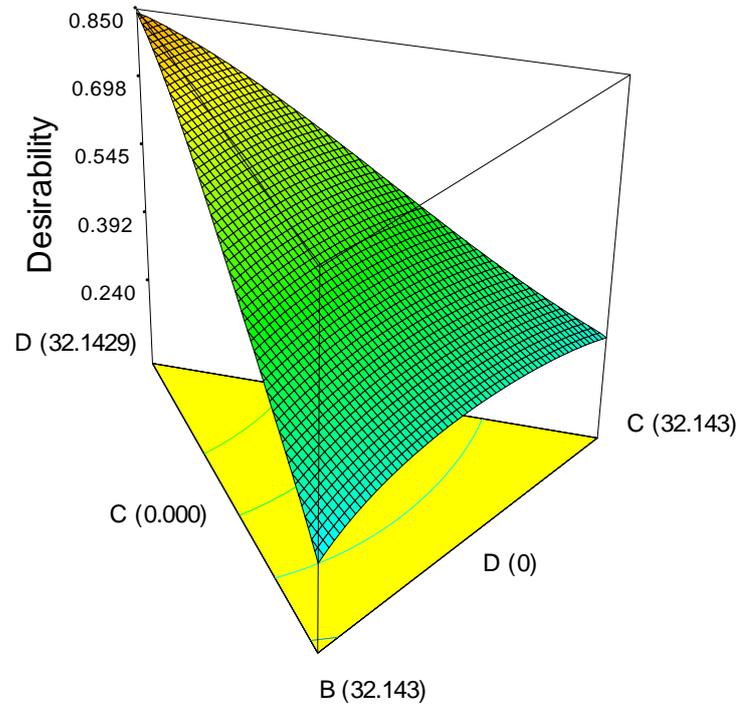
X1 = D: KONJAC

X2 = B: GUAR

X3 = C: TARA

Actual Component

A: CARRAGENINA = 67.857



ANEXO 12: RESULTADOS DE LA DUREZA EN LA APLICACIÓN DE *HOT DOG* ECONÓMICO

Muestra	R1	R2	R3	R4	R5	Promedio	%CV
0.5	1360	1397	1419	1403	1339	1383.60 ^c	2.38
1	2174	1949	1982	2175	2164	2088.80 ^b	5.42
Patrón	762	828	768	814	699	774.20 ^a	6.56

ANEXO 13: PRUEBA ESTADÍSTICA DE TUCKEY PARA LOS RESULTADOS DE DUREZA DEL *HOT DOG* ECONÓMICO

Contraste	Sig.	Diferencia	+/- Límites
0.5 - 1.0	*	-705.2	125.45
0.5 - 0.0	*	609.4	125.45
1.0 - 0.0	*	1314.6	125.45

ANEXO 14: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA CARRGANINA SEMIREFINADA

Características		Especificaciones
Tipo	:	Semirefinada
Origen	:	Filipinas
Marca	:	Cargill
pH	:	8 -11
Tamaño de Partícula	:	≥ 70 % (< 200 μm)
Perdida por secado	:	≤ 12 %

FUENTE: Adaptado de *Philippine Bio-Industries* 2013.

ANEXO 15: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA GOMA KONJAC

Características		Especificaciones
Pureza	:	80 % min
Origen	:	China
Marca	:	Chengdu Newstar Co. Ltd
pH	:	7
Cont. de proteína	:	4.5 - 5.5
Tamaño de partícula	:	90% pasa 120 mesh
Viscosidad	:	25000 mpa min

FUENTE: Adaptado de *Chengdu Newstar Konjac* 2010.

ANEXO 16: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA GOMA GUAR

Características		Especificaciones
Pureza	:	82 % min
Origen	:	India
Marca	:	Silva Team
Humedad	:	10.55%
Cont. de proteína	:	4.5 - 5.5
Tamaño de partícula	:	> 200 mesh
Viscosidad	:	5000 cps min

FUENTE: Adaptado de *Silva Team*. 2010.

ANEXO 17: ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA GOMA TARA

Características		Especificaciones
Pureza	:	90 % min.
Origen	:	Perú
Marca	:	Tecnacorp
Grado de dispersión	:	100% 45°C
Densidad	:	0.5 - 0.8 g/cm ³
Tamaño de partícula	:	> 100 mesh
Viscosidad	:	5000 - 6500 cps

FUENTE: Adaptado de *Tecnacorp* 2011.