



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN**

**INFLUENCIA DE LA INTERACCIÓN DE PROTEÍNA DE TRIGO
CON GRENETINA, GOMA DE MEZQUITE Y LECITINA EN EL
PROCESO DE PANIFICACIÓN.**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA EN ALIMENTOS

Presenta:

SOTO HUERTA SONIA

Asesor: I.Q. GUADALUPE FRANCO RODRÍGUEZ



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR
DEPARTAMENTO DE EXÁMENES PROFESIONALES

FACULTAD DE ESTUDIOS
ASUNTO: VOTO APROBATORIO

DRA. SUEMI RODRÍGUEZ ROMO
DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLÁN
PRESENTE



ATN: L.A. ARACELI HERRERA HERNÁNDEZ
Jefa del Departamento de Exámenes
Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el Art. 28 del Reglamento de Exámenes Profesionales nos permitimos comunicar a usted que revisamos la Tesis: **Influencia de la interacción de proteína de trigo con grenetina, Goma de mezquite y lecitina en el proceso de panificación**

Que presenta el pasante: **Sonia Soto Huerta**
Con número de cuenta: **302008276** obtener el Título de: Ingeniera en Alimentos

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Méx. a 22 de febrero de 2012.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	I. Q. Guadalupe Franco Rodríguez	
VOCAL	Dr. Ricardo Baltazar Ayala	
SECRETARIO	I. A. Patricia Muñoz Aguilar	
1er SUPLENTE	Dra. Carolina Moreno Ramos	
2do SUPLENTE	I. Q. Guillermo Martínez Morua	

NOTA: los sinodales suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (art. 120).
HHA/pm

AGRADECIMIENTOS.

A mi alma mater la Universidad Nacional Autónoma de México que me proporciono los cimientos universitarios desde la Escuela Nacional Preparatoria No 9.

A mi asesora de tesis Guadalupe Franco Rodríguez por el apoyo, paciencia, tiempo y facilidades que me brindó al realizar el trabajo de tesis.

A mis sinodales de tesis por el tiempo y dedicación para culminar este proyecto.

A mis padres Gabino Soto Fraga y Estela Huerta Domínguez, porque sólo la superación de mis ideales, me han permitido comprender cada día más la difícil posición de ser padres, mis conceptos, mis calores morales y mi superación se las debo a ustedes; esto será la mejor de las herencias; lo reconozco y lo agradeceré eternamente, por todo el tiempo que les robé pensando en mi, Gracias.

A mis hermanos Antonio, Liliana y Gabino, mi hermanito menor por darme una gran lección de vida al enseñarme a comprender que una discapacidad no te limita como persona, a ti Lili por todos los cuidados que me tuviste desde pequeña y por el apoyo que me has dado cuando he recurrido a ti, a ti Toño por ayudarme en lo que pudiste y recuerda que aunque seamos muy diferentes siempre compartimos una fecha de cumpleaños.

A mis prima Alma por ser esa gran amiga que siempre estaba ahí para escucharme y comprenderme, por ser mi mano derecha, por quererme, por ayudarme a cargar con problemas, por dedicarme de su tiempo y brindarme un abrazo o una palabra de apoyo cuando sabias que lo necesitaba.

A mis amigos y personas de gran importancia que han estado presentes en este camino: Aline, Argelia, Carlos, Elia, José Luis, Mariana, Mariela, Yvonne; siempre tendré en mi pensamiento sus consejos, sus costumbres para vivir al fin de cuentas si alguien recuerda eso o te recuerda a ti te querrá, te amara por muchos años, por la eternidad.

A mis perros Harry y Simba que siempre fueron mis compañeros de desvelos y tareas.

Sabiendo que no existirá una forma de agradecer una vida de sacrificio y esfuerzo, quiero que sientan que el objetivo logrado también es de ustedes y que la fuerza que me ayudo a conseguirlo fue su apoyo.

Con cariño y admiración.

Sonia.

"No basta dar pasos que un día puedan conducir hasta la meta, sino que cada paso debe ser una meta, sin dejar de ser un paso."- JOHANN PETER ECKERMANN. -

ÍNDICE

RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	4
CAPÍTULO I ANTECEDENTES	6
1.1 Generalidades del pan.....	6
1.2 Tipos de harina de panificación y sus características.....	9
1.3 Proteínas del trigo	11
1.4 Grenetina.....	13
1.5 Goma de mezquite	15
1.6 Lecitina de soya	17
CAPÍTULO II GENERALIDADES DE SISTEMAS DISPERSOS Y FUNDAMENTOS FÍSICOQUÍMICOS	21
2.1 Sistemas dispersos.....	21
2.2 Coloides hidrofóbicos e hidrofílicos	23
2.3 Interacción proteína- proteína	25
2.4 Interacción proteína - polisacárido	25
2.5 Interacción proteína- tensoactivo	26
2.6 Tensoactivos	27
2.7 Espumas.....	28
2.8 Emulsiones.....	29
2.9 Calorimetría.....	30
2.10 Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC)	32
2.11 Energía de Activación	35
2.12 Principios y teoría de la texturometría	37
CAPÍTULO III OBJETIVO GENERAL Y PARTICULARES	40
3.1 Objetivo general	40
3.2 Objetivo particular 1	40
3.3 Objetivo particular 2.....	41
3.4 Objetivo particular 3.....	41
3.5 Cuadro metodológico	42

CAPÍTULO IV METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	43
4.1 Desarrollo experimental.....	43
4.2 Actividades preliminares	43
4.2.1 Determinación de la actividad de agua de la materia prima	43
4.2.2 Determinación del pH de la materia prima y formulaciones	44
4.2.3 Determinación de la estabilidad de espumas	45
4.2.4 Determinación de la formulación de pan.....	46
4.2.5 Determinación del estado nativo de desnaturalización de las proteínas de trigo y yema de huevo	46
4.3 Materiales y Métodos	47
4.3.1 Materia Prima.....	47
4.3.2 Metodología para el análisis de calorimetría DSC.....	47
4.3.3 Metodología para el análisis de termogravimetría	48
4.3.4 Análisis de perfil de textura TPA	49
CAPÍTULO V ANÁLISIS DE RESULTADOS	51
5.1 Resultados obtenidos para la resolución del objetivo particular 1.....	51
5.1.1 Nivel de variación 1. Interacción gluten- grenetina al 0.3%.....	51
5.1.2 Nivel de variación 2. Interacción gluten- grenetina al 0.5%.....	55
5.1.3 Nivel de variación 3. Interacción gluten-grenetina al 0.7%.....	59
5.2 Resultados obtenidos para la resolución del objetivo particular 2.....	69
5.2.1 Nivel de variación 1. Interacción gluten- goma de mezquite al 0.3%.....	69
5.2.2 Nivel de variación 2. Interacción gluten- goma de mezquite al 0.5%.....	73
5.2.3 Nivel de variación 3. Interacción gluten-goma de mezquite al 0.7%.....	77
5.3 Resultados obtenidos para la resolución del objetivo particular 3.....	86
5.3.1 Nivel de variación 1. Interacción gluten- lecitina al 0.3%	86
5.3.2 Nivel de variación 2. Interacción gluten- lecitina al 0.5%	90
5.3.3 Nivel de variación 3. Interacción gluten-lecitina al 0.7%	94
CONCLUSIONES	105
ANEXOS	I
BIBLIOGRAFÍA.	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de pan	8
Figura 2. Unión estructural de la gliadina y glutenina para la obtención de gluten	12
Figura 3. Estructura química de la goma de mezquite.....	15
Figura 4. Modelo de la estructura “Wattle-blosson” presente en la goma de mezquite	17
Figura 5. Fracción hidrófila e hidrófoba de lecitina de soya	20
Figura 6. Aqualab 3 TE.....	44
Figura 7. Conductronic p H 10.....	45
Figura 8. TA- Instrument DSC	48
Figura 9. TA- Instrument TGA.....	49
Figura 10. Texturometro modelo: TA-XT plus	50
Figura 11. Modelo de la interacción gluten-grenetina 0.3% por enlaces disulfuro y puentes de hidrógeno	52
Figura 12. Tamaño de poro de pan obtenido de la interacción gluten-grenetina al 0.3%	54
Figura 13. Modelo de la interacción gluten-grenetina 0.5% por enlaces disulfuro, puentes de hidrógeno y gelatinización de las cadenas laterales.	57
Figura 14. Tamaño de poro del pan obtenido en la interacción gluten- grenetina al 0.5%	58
Figura 15. Modelo de la interacción gluten-grenetina 0.7% por enlaces disulfuro y puentes de hidrógeno en el sistema.....	60
Figura 16. Tamaño de poro del pan obtenido en la interacción gluten-grenetina al 0.7%	63
Figura 17. Tamaño de poro del pan obtenido en la interacción gluten-grenetina al 0.3, 0.5 y 0.7%.....	64
Figura 18. Modelo de la interacción gluten- goma de mezquite al 0.3%.....	70
Figura 19. Tamaño de poro de pan obtenido en la interacción gluten- goma de mezquite al 0.3%.	72
Figura 20. Modelo de la interacción gluten- goma de mezquite 0.5%	75
Figura 21. Tamaño de poro del pan obtenido en la interacción gluten- goma de mezquite al 0.5%	76
Figura 22. Modelo de la interacción gluten- goma de mezquite al 0.7%	78

Figura 23. Tamaño de poro del pan obtenido en la interacción gluten-goma de mezquite al 0.7%	81
Figura 24. Tamaño de poro del pan obtenido en la interacción gluten-goma de mezquite al 0.3, 0.5 y 0.7%	81
Figura 25. Modelo de la interacción gluten- lecitina al 0.3%.....	87
Figura 26. Tamaño de poro del pan obtenido en la interacción gluten- lecitina al 0.3%	89
Figura 27. Modelo de la interacción gluten- lecitina 0.5%.....	91
Figura 28. Tamaño de poro del pan obtenido en la interacción gluten- lecitina al 0.5%	92
Figura 29. Tamaño de poro obtenido en la interacción gluten- lecitina al 0.7%	98
Figura 30. Tamaño de poro del pan obtenido en la interacción gluten- lecitina al 0.3, 0.5 y 0.7%	98
Figura 31. Características visuales obtenidas a los diferentes niveles de variación establecidos	99

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Termograma de la interacción gluten- grenetina al 0.3%	51
Gráfica 2. Estudio termogravimétrico del sistema gluten- grenetina al 0.3%	53
Gráfica 3. Pérdida de masa de la interacción pan- grenetina al 0.3%.....	54
Gráfica 4. Termograma de la interacción gluten-grenetina al 0.5%	56
Gráfica 5. Estudio termogravimétrico del sistema gluten-grenetina 0.5%.....	57
Gráfica 6. Pérdida de masa de la interacción pan-grenetina al 0.5%	58
Gráfica 7. Termograma de la interacción gluten- grenetina al 0.7%	60
Gráfica 8. Termograma comparativo de las interacciones gluten-grenetina al 0.3, 0.5 y 0.7%	61
Gráfica 9. Estudio termogravimétrico del sistema gluten- grenetina al 0.7%	62
Gráfica 10. Pérdida de masa de la interacción gluten-grenetina al 0.7%	65
Gráfica 11. Prueba de textura de la interacción pan/grenetina (lado superior).....	66
Gráfica 12. Prueba de textura de la interacción pan/grenetina (punto medio)	67
Gráfica 13. Prueba de textura de la interacción pan/grenetina (lado inferior)	68
Gráfica 14. Termograma de la interacción gluten-goma de mezquite al 0.3%.....	70
Gráfica 15. Estudio termogravimétrico de la interacción gluten- goma de mezquite al 0.3%	71
Gráfica 16. Pérdida de masa de la interacción pan-goma de mezquite al 0.3%.....	72
Gráfica 17. Termograma de la interacción gluten- goma de mezquite al 0.5%.....	74
Gráfica 18. Estudio termogravimétrico del sistema gluten-goma de mezquite al 0.5%.....	75
Gráfica 19. Pérdida de masa de la interacción pan- goma de mezquite al 0.5%.....	76
Gráfica 20. Termograma de la interacción gluten-goma de mezquite al 0.7%	78
Gráfica 21. Termograma comparativo de las interacciones gluten – goma de mezquite al 0.3,0.5 y 0.7%	79
Gráfica 22. Estudio termogravimétrico del sistema gluten- goma de mezquite al 0.7%.....	80
Gráfica 23. Pérdida de masa de la interacción pan- goma de mezquite al 0.7%	82
Gráfica 24. Prueba de textura de la interacción pan- goma de mezquite (lado superior).....	83
Gráfica 25. Prueba de textura de la interacción pan-goma de mezquite (punto medio)	84
Gráfica 26. Prueba de textura de la interacción pan-goma de mezquite (lado inferior).....	85
Gráfica 27. Termograma de la interacción yema de huevo- lecitina al 0.3%.....	87
Gráfica 28. Estudio termogravimétrico del sistema yema de huevo- lecitina al 0.3%.....	88
Gráfica 29. Pérdida de masa de la interacción pan- lecitina al 0.3%	89

Gráfica 30. Termograma de la interacción yema de huevo- lecitina al 0.5%.....	91
Gráfica 31. Estudio termogravimétrico del sistema yema de huevo- lecitina al 0.5%.....	92
Gráfica 32. Pérdida de masa de la interacción pan- lecitina al 0.5%.....	93
Gráfica 33. Termograma de la interacción yema de huevo- lecitina al 0.7%.....	94
Gráfica 34. Termograma comparativo 1 de la interacción yema de huevo- lecitina al 0.3 y 0.5% en relación a la yema de huevo en estado nativo	95
Gráfica 35. Termograma comparativo 2 de la interacción yema de huevo- lecitina al 0.3,0.5 y 0.7% en relación al estado nativo de desnaturalización de la yema de huevo.....	96
Gráfica 36. Estudio termogravimétrico del sistema yema de huevo- lecitina al 0.7%.....	97
Gráfica 37. Pérdida de masa de la interacción pan- lecitina al 0.7%	99
Gráfica 38. Prueba de textura de la interacción pan- lecitina (lado superior)	101
Gráfica 39. Prueba de textura de la interacción pan- lecitina (punto medio).....	102
Gráfica 40. Prueba de textura de la interacción pan- lecitina (lado inferior).....	103
Gráfica 41. Estabilidad de espuma a un tiempo de 3 min.....	II
Gráfica 42. Estabilidad de espuma a un tiempo de 6 min.....	III
Gráfica 43. Estabilidad de espuma a un tiempo de 9 min.....	III
Gráfica 44. Gráfica comparativa de la estabilidad de espumas a diferentes tiempo de batido ..	IV
Gráfica 45. Pérdida de masa de pan blanco.....	IV
Gráfica 46. Parámetros obtenidos a partir del análisis calorimétrico DSC	VIII
Gráfica 47. Termograma de gluten de trigo en charola abierta	VIII
Gráfica 48. Termograma de gluten de trigo en charola cerrada.....	IX
Gráfica 49. Estudio termogravimétrico del gluten de trigo	X
Gráfica 50. Energía de activación del gluten de trigo	XI
Gráfica 51. Termograma de la yema de huevo	XII
Gráfica 52. Estudio termogravimétrico de la yema de huevo.....	XIII
Gráfica 53. Método de Kissinger para obtener la energía de activación al 0.3% de grenetina	XIV
Gráfica 54. Método de Kissinger para obtener la energía de activación al 0.5% de grenetina ...	XIV
Gráfica 55. Método de Kissinger para obtener la energía de activación al 0.7% de grenetina ...	XV
Gráfica 56. Método de Kissinger para obtener la energía de activación al 0.3% de goma de mezquite	XV

Gráfica 57. Método de Kissinger para obtener la energía de activación al 0.5% de goma de mezquite	XVI
Gráfica 58. Método de Kissinger para obtener la energía de activación al 0.7% de goma de mezquite	XVI
Gráfica 59. Método de Kissinger para obtener la energía de activación al 0.3% de lecitina ...	XVII
Gráfica 60. Método de Kissinger para obtener la energía de activación al 0.5% de lecitina. ...	XVII
Gráfica 61. Método de Kissinger para obtener la energía de activación al 0.7% de lecitina. ...	XVIII

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición química de los diferentes tipos de harina utilizada en la industria de panificación	10
Tabla 2. Composición química de la harina de trigo	10
Tabla 3. Proteínas presentes en gnetina obtenida de hidrolización parcial de colágeno	13
Tabla 4. Composición química de la goma de mezquite	16
Tabla 5. Composición de azucares de la goma de mezquite.....	16
Tabla 6. Composición química de la lecitina de soya antes del proceso de refinamiento y como aceite refinado	18
Tabla7. Composición de ácidos grasos de la lecitina de soya	19
Tabla 8. Propiedades físicas de la lecitina de soya.....	19
Tabla 9. Clasificación de los sistemas dispersos.....	22
Tabla 10. Materiales para el desarrollo de espumas	45
Tabla 11. Procedimiento del desarrollo experimental de la estabilidad de espumas	46
Tabla 12. Propiedades del pan con gnetina al 0.3%	55
Tabla 13. Propiedades del pan con gnetina al 0.5%	59
Tabla14. Energía de activación de la interacción gluten- gnetina al 0.3, 0.5 y 0.7%	62
Tabla 15. Propiedades del pan con gnetina al 0.7%	65
Tabla 16. Propiedades del pan con goma de mezquite al 0.3%.....	73
Tabla 17. Propiedades del pan con goma de mezquite al 0.5%.....	77
Tabla 18. Energía de activación de la interacción gluten- goma de mezquite al 0.3, 0.5 y 0.7%. 80	
Tabla 19.Propiedades del pan con goma de mezquite al 0.7%.....	83
Tabla 20. Propiedades del pan con lecitina al 0.3%	90
Tabla 21. Propiedades del pan con lecitina al 0.5%	93
Tabla 22. Energía de activación de la interacción yema de huevo- lecitina al 0.3, 0.5 y 0.7%	96
Tabla 23. Propiedades del pan con lecitina al 0.7%	100
Tabla 24. Resultados de la actividad de agua con incertidumbre del 0.008%	I
Tabla 25. Medición de pH de los componentes del pan	I
Tabla 26.Medición de pH de las mezclas de la interacción de pan.....	II
Tabla 27. Características generales de la espuma obtenida de la clara de huevo	IV
Tabla 28. Determinación de la formulación de pan	V
Tabla 29. Tiempo de elaboración del pan	V

Tabla 30. Humedad relativa de la mezcla.....	VI
Tabla 31. Propiedades del pan blanco.....	VII

RESUMEN

Para poder ofrecer a la industria panificable una calidad constante y adecuada se ha optado por la utilización de hidrocoloides y emulsificantes en la elaboración del mismo, cuidando la calidad de la materia prima que conforman a la mezcla que se estandarizan mediante calidad de los componentes y análisis fisicoquímicos de control como el pH de las mezclas resultantes de las formulaciones establecidas. La parte hidrocoloide contribuye a la función estructural, permitiendo la construcción de una red adecuada para el pan, lo que posibilita una correcta extensibilidad de la masa para formar piezas así como también para que la estructura no colapse pocos minutos después del horneado, o bien ya durante la vida de anaquel la pérdida volumétrica sea mínima, mientras que la parte emulsiva contribuye para evitar el endurecimiento de pan por la retrogradación de las reacciones secundarias dentro del sistema y por la capacidad de humectante que le confiere por la interacción de los fosfolípidos en la superficie del pan.

En el siguiente trabajo de investigación se determinó la influencia de la interacción gluten – gnetina, gluten- goma de mezquite y gluten- lecitina al 0.3, 0.5 y 0.7% para evaluar los cambios físicos como son los volumétricos y la constitución de la miga de pan, cambios texturales mediante TPA evaluando la dureza y fracturabilidad del sistema alimenticio y un análisis térmico mediante calorimetría diferencial de barrido (DSC), analizando el cambio de la temperatura máxima del evento térmico a las diferentes concentraciones establecidas respecto al estado nativo de desnaturalización del gluten de trigo y para la interacción gluten-lecitina respecto a la yema de huevo por la afinidad molecular y por la interacción del emulsificante en la superficie del sistema como aislante y humectante, complementando con un análisis de termogravimetría (TGA) para el análisis de la estabilidad de la masa al sometimiento de altas temperaturas, del análisis DSC se obtuvo la energía de activación del sistema por el método de Kissinger para cuantificar la energía necesaria para la formación de los diversos enlaces presentes a los niveles de variación propuestos en las interacciones presentes.

Respecto a la caracterización de la interacción gluten- gnetina, a las concentraciones establecidas, se determinó, referente a los parámetros calorimétricos, que ocurrió un decremento proporcional a la concentración agregada en el sistema en la temperatura inicial del proceso de desnaturalización en relación a la temperatura inicial en la desnaturalización nativa del gluten (81.41°C), obteniéndose los valores cuantitativos de: 50.84°C al 0.3%, 44.46°C al 0.5% y 36.54°C al 0.7%, la temperatura del cambio de fase, también se presentó un decremento referente al valor de la desnaturalización nativa (100.48°C), sin embargo, este no se encontró relacionado proporcionalmente a la concentración de gnetina adicionada en el sistema, presentó una temperatura menor del cambio de fase a la concentración del 0.5% de con un valor puntual de 61.9 °C, la temperatura final de transición disminuyó en relación a la calorimetría del gluten estado nativo, al agregarse las concentraciones establecidas de gnetina en el sistema, culminando a una temperatura menor a la concentración del 0.5%; el valor de entalpía disminuyó respecto a la entalpía en el estado nativo, obteniéndose los siguientes resultados: 483.9 J/g, 53.43 J/g y 247.9 J/g, en el orden de las concentraciones establecidas, el valor positivo nos indicó que en todas las interacciones el proceso de desnaturalización fue endotérmico; la energía de activación

disminuyó, acorde a su estado nativo, a las diferentes concentraciones del sistema presentando un valor menor de 317.8 J/g; el análisis termogravimétrico señaló que a la concentración al 0.7% de grenetina, se perdió menor cantidad de componentes volátiles al someter la masa de pan a calentamiento.

El incremento volumétrico de la masa madre al pan con grenetina, fue directamente proporcional a la concentración de grenetina en el sistema, así como la pérdida volumétrica en vida de anaquel, sin embargo, la pérdida de masa por día fue menor a la concentración del 0.7%; referente al análisis de perfil de textura, la concentración del 0.5%, fue la que mejoró los parámetros de dureza y fracturabilidad en el lado superior, punto medio y lado inferior del pan.

En cuanto a propiedades calorimétricas de las interacciones gluten- goma de mezquite, se presentó un decremento en la temperatura inicial de desnaturalización, temperatura de cambio de fase y temperatura final del proceso, obteniendo un valor menor a la desnaturalización nativa del gluten de trigo en la temperatura de inicio del proceso y temperatura del cambio de fase a la concentración del 0.3% , con un valor de 42.54 °C y 81.29°C respectivamente, mientras que la temperatura final del proceso menor respecto a la temperatura final del estado nativo se registró a la concentración del 0.7% con un valor de 100.25°C, la entalpía en las interacciones fue positivo lo que indicó una reacción endotérmica en las interacciones presentes, el valor menor de entalpía se indicó a la concentración de 0.7% de goma de mezquite con un valor de 2592 mJ/g. La energía de activación de las interacciones fue mayor a la establecida en la desnaturalización nativa del gluten a la concentración del 0.7% con un valor de 379 J/mol, presentando un decremento en el valor de energía de activación nativa a las concentraciones de 0.3% y 0.5%, con un valor menor de 349.1 g/ mol en la concentración del 0.3%; el análisis termogravimétrico indicó una pérdida menor de componentes volátiles en las interacciones propuestas referente al gluten patrón, observándose la menor pérdida con un valor del 29.78% a la concentración del 0.7% .

Los incrementos volumétricos de la masa madre al pan, así como la pérdida volumétrica en anaquel fue directamente proporcional a la concentración de goma de mezquite en el sistema, mientras que la pérdida de masa en vida de anaquel fue menor a la concentración del 0.5% en un rango de 1.377 a 1.440 g/día; el análisis de perfil de textura indicó que a la concentración del 0.5% no presenta un punto de dureza el sistema alimenticio, así como el decremento en el valor de fracturabilidad en el lado superior y punto medio a dicha concentración, sin embargo en el lado inferior le brindó menor fracturabilidad la concentración del 0.7% .

En las interacciones gluten- lecitina, respecto a las temperaturas calorimétricas, se observó un incremento en la temperatura inicial del evento en relación a la temperatura inicial de la desnaturalización nativa de la yema de huevo (69.49°C) a las concentraciones de 0.5 y 0.7% de lecitina, mientras que a la concentración del 0.3% la temperatura disminuyó teniendo un valor de 60.03°C, referente a la temperatura de cambio de fase fue menor a la concentración del 0.3% y mayor a las concentraciones de 0.5% y 0.7% respecto a la temperatura del cambio de fase del estado nativo de la yema de huevo; la entalpía fue mayor en las concentraciones del 0.3% y 0.5% y presentó un valor menor a la concentración del 0.7% con un valor de 3759 m J/ g , siendo todos

valores positivos lo cual indicó la naturaleza de un proceso endotérmico en las interacciones presentes; los resultados de energía de activación fueron mayores referente a la energía de activación nativa de la yema de huevo, siendo la concentración del 0.5% la que expresó un valor menor de 347.7 J/mol de dicho parámetro en las interacciones; el comportamiento termogravimétrico indicó una conservación de componentes volátiles mayor que la nativa a la concentración de 0.3%, menor a la concentración del 0.5% y equitativa a la concentración del 0.7% .

El incremento volumétrico fue proporcional a la concentración de lecitina en el sistema, obtuvo una pérdida volumétrica de anaquel menor a la concentración del 0.5% de lecitina, mientras que el decremento de masa en anaquel fue proporcional a la concentración de lecitina en el sistema, referente al análisis de perfil de textura en el lado superior, inferior y punto medio no se presentó un valor de dureza a las concentraciones de 0.5 y 0.7%.

INTRODUCCIÓN

Las demandas de la población consumidora de pan exige un producto de suavidad, textura y volumen que perduren por un mayor lapso de tiempo, sin que contengan aditivos sintéticos, por ello el interés de introducir en la formulación sustancias naturales que contribuyan a la mejora de la calidad cuantitativa y cualitativa del pan y de fácil obtención como lo es la gredina, goma de mezquite y lecitina de soya.

Se denomina pan al producto perecedero resultante de la cocción de una masa obtenida por la mezcla de harina de trigo, sal comestible y agua potable, fermentada por acción de *Saccharomyces cerevisiae*. Es un producto de gran consumo y cuenta con una amplia gama de comercialización.

⁽³⁸⁾ ⁽⁴⁷⁾

En la elaboración de productos de panificación el factor primordial a controlar es la disponibilidad de proteína que forme una red adecuada, que implica que permita una buena extensión de la harina, lo cual se determina por el balance en equilibrio de las proteínas que conforman el gluten de trigo. ⁽³⁸⁾

En el proceso de panificación una determinación es la del pH la cual indica el comportamiento molecular de la estructura gliadina- glutenina que conforman el gluten; lograr el equilibrio adecuado de ambos componentes en la masa panificable es fundamental para el comportamiento óptimo del gluten, un exceso de glutenina dará origen a masas con propiedades de expansión inaceptables, a su vez un contenido alto en gliadina da como resultado un gluten con poca capacidad para retener gas en su interior. ⁽⁴⁾⁽³¹⁾⁽⁴⁷⁾

La temperatura de desnaturalización del gluten se efectúa a los 70 °C ⁽³⁾ ⁽⁴⁷⁾ esto ocurre cuando una fracción de éste se insolubiliza por la pérdida de su actividad biológica nativa, lo cual es un punto crítico en el proceso de elaboración del pan. ⁽⁶⁾

Con la finalidad de estandarizar parámetros de calidad y mejorar las características fisicoquímicas como disminuir la temperatura de desnaturalización nativa del gluten o la estabilidad térmica en vida de anaquel y sensoriales tales como la dureza y fracturabilidad del pan se han empleado hidrocoloides, estabilizantes y proteínas en la formulación lo que conlleva a la formación de nuevos compuestos. ⁽¹⁸⁾ ⁽¹⁹⁾

La interacción proteína- proteína corresponde a las fracción proteica del gluten de trigo con gredina adicionada a la formulación, actuando como hidrocoloide altamente versátil por las funciones que le confiere a la masa de incrementar la viscosidad, proveer textura, estabilizador y captador de humedad a través de la formación de puentes de hidrogeno que por su conformación molecular logra, conservando la humedad, textura fresca y flexible al consumidor. ⁽³¹⁾

Así mismo en la interacción proteína- polisacárido se utilizo la goma de mezquite que es un exudado color ámbar considerado un polisacárido muy ramificado unido covalentemente a una diminuta fracción proteica y una parte electrolítica que le confiere al sistema propiedades emulsivas y estabilizadores por tener suficientes grupos hidrofóbicos para actuar como puntos de

anclaje o unión, lo que su utilización en el proceso de panificación da como resultado panes suaves, con menor endurecimiento de la miga en la vida de anaquel y el mantenimiento de estos con buena consistencia y textura.⁽²⁹⁾

A consecuencia del fenómeno de retrogradación de pan se pierde la continuidad de la red estructural, lo que provoca la característica quebradiza en el producto y la pérdida de volumen como el endurecimiento de la miga en vida de anaquel; la adición de lecitina como agente humectante y emulsificante en la masa contribuye a retardar cierto fenómeno confiriéndole al sistema mayor humedad y conservación de sus cualidades texturales alargando su vida de anaquel.⁽²⁾⁽²³⁾

Por lo consecuente la adición de proteínas, polisacáridos y tensoactivos conduce a la formación de nuevos enlaces en el sistema induciendo a cambios conformacionales de la estructura molecular que le aportan al producto panificable atributos de mejora en la obtención del mismo. Estos cambios conformacionales se evaluaron mediante análisis térmicos utilizando la calorimetría DSC que determina el ΔH de desnaturalización de las proteínas involucradas debido al flujo de calor constante aplicado en el sistema teniendo en cuenta que varios factores tales como el pH y temperatura aplicada al proceso son responsables de desplegamiento y estabilidad de proteínas que incluye las interacciones hidrofóbicas, los puentes de hidrogeno y los parámetros termodinámicos conformacionales del sistema, el análisis calorimétrico fue complementado con un estudio de TGA cuya técnica permite evaluar la pérdida de masa al exponerse al flujo de calor por ser un proceso de aplicación de una fuente de calor para la obtención del pan y evaluar la vulnerabilidad de pérdida de los componentes volátiles a la conformación de los nuevos complejos.

Referente a los parámetros texturales el análisis de TPA permitió determinar los beneficios aplicados por los hidrocoloides y estabilizantes en la formulación para el beneficio óptimo de las cualidades del pan.

Por lo tanto el uso de gredina, goma de mezquite y lecitina en la industria de la panificación se encuentra limitada a la concentración crítica, debido a la facilidad de transformación estructural, excediendo dicha concentración no se obtiene la eficiencia de optimizar las características texturales, térmicas y vida útil del producto, por lo que ha surgido la necesidad de analizar las interacciones resultantes del gluten con dichos componentes, con el fin de obtener masas panificables estables durante el procesado que conlleven a una mayor vida útil del sistema alimenticio.

CAPÍTULO I ANTECEDENTES

1.1 GENERALIDADES DEL PAN.

Se denomina pan al producto perecedero resultante de la cocción de una masa obtenida por la mezcla de harina de trigo, sal comestible y agua potable, fermentada por especies de microorganismos, como el de *Saccharomyces Cerevisiae*.⁽⁴⁷⁾⁽⁸⁾

En la industria alimentaria se tienen dos tipos de pan:

1. Pan común. Se define como el de consumo habitual en el día, elaborado con harina de trigo, sal, levadura y agua al que se le pueden añadir ciertos coadyuvantes tecnológicos y aditivos autorizados, dentro de este tipo de pan se identifica al pan bregado conocido también como pan español y el pan de flama.
2. Pan especial. Es aquel que por su composición, por incorporar algún aditivo o coadyuvante especial, por el tipo de harina, o por otros ingredientes especiales (leche, huevos, grasas, cacao, estabilizantes, etc.) no corresponde a la definición básica de pan común como ejemplo en esta categoría tenemos al pan integral, pan de francés, pan de molde, pan de cereales, pan de huevo, etc.⁽⁴⁷⁾

A raíz de las anteriores definiciones las materias primas utilizadas en la elaboración de pan son: harina, agua, sal, levadura y otros componentes.⁽⁴⁷⁾

PROCESO DE PANIFICACIÓN.

Existen 3 sistemas generales de elaboración de pan que vienen determinados principalmente por el tipo de levadura que se utiliza.⁽³⁸⁾⁽⁴⁷⁾⁽²⁾

Se define como levadura natural o masa madre al cultivo simbiótico de las levaduras presentes de manera natural en los alimentos, responsable de la fermentación de productos como el vino, cerveza y pan, no se hace ni se fabrica, ya que están presentes en el ambiente. Este cultivo necesita de tres elementos básicos para su producción los cuales son el alimento, la humedad y la temperatura adecuada de reproducción.⁽⁴⁷⁾

El concepto de levadura comercial abarca a toda sustancia o cultivo que se agregue al sistema alimenticio para propiciar o acelerar el proceso de fermentación, esta puede tener un origen químico o biológico. Las levaduras de origen químico se tratan de una mezcla de bicarbonato de sodio con una sal ácida débil que al unirse libera CO₂, la mayoría son de doble acción, provocan una primera reacción al mezclarse con los componentes de la masa y una segunda y más significativa en el horneado que se ve involucrado el incremento volumétrico; mientras que la levadura biológica, es en realidad una colonia de *Saccharomyces Cerevisiae* selecta por medio del cruce de razas que aseguren las características adecuadas y la calidad constante para el proceso de panificación.⁽⁷⁾⁽⁴²⁾

Los tres sistemas generales de elaboración de pan se enuncian a continuación:

- **Directo:** Es el menos frecuente y se caracteriza por utilizar exclusivamente levadura comercial. Requiere un periodo de reposo de la masa de 45 minutos antes de la división de la misma.
- **Mixto:** Es el sistema más frecuente en la elaboración de pan común, utiliza simultáneamente masa madre (levadura natural) y levadura comercial y requiere un reposo previo de 10 a 20 minutos.
- **Esponja o poolish:** Es el sistema universalmente empleado sobretodo en la elaboración de pan francés y pan de molde. Consiste en elaborar una masa líquida (esponja) con el 30 al 40% del total de la harina, se deja reposar unas horas, se incorpora el resto de la harina y agua y a partir de ahí se procede como el método directo.

DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN.

Con las particularidades propias de cada sistema de elaboración y cada tipo de pan, el proceso consta de las siguientes etapas.^{(38) (2)}

- 1. Amasado:** Su objetivo es lograr una mezcla homogénea de los distintos componentes de la masa, en este paso se mide cuidadosamente todos los ingredientes, añadir el agua, la sal, azúcar, malta, leche y revolver hasta crear una especie de masa ya en este punto se agrega la levadura disuelta y las grasas.
- 2. Fermentación:** Comprende todo el tiempo transcurrido desde la mezcla hasta que el pan entra al horno primordialmente se efectúa una fermentación alcohólica, su temperatura ideal es de 26°C y su temperatura máxima se encuentra en el rango de 30°C a 37°C, en dicho proceso se tienen dos puntos importantes que son la producción y retención de gas, los factores que influyen en la retención de gas es el suministro adecuado de azúcares, aumento en la concentración de levadura, una temperatura adecuada de 26 a 27 °C, hay que tener en consideración que un exceso de sal, una temperatura excesivamente alta o baja y una fermentación corta reduce considerablemente la producción de CO₂ y por tanto el decremento volumétrico en el sistema panificable.
- 3. Horneo o cocción:** El objetivo del horneado es cocer la masa, transformarla en un producto apetitoso y digerible, la temperatura adecuada para la cocción de pan es de 190 y 270°C, en este punto aumenta la actividad de la levadura y es cuando hay mayor producción de CO₂, el almidón comienza a hincharse y las propiedades del gluten se modifican, cuando comienza la caramelización de la capa externa del pan indica que este ya está cocido.

El diagrama de flujo de la figura 1 describe el proceso de elaboración de pan, diferenciándolo en las operaciones activas y fases de reposo que son opcionales dependiendo el tipo de pan a elaborar, siendo las operaciones activas fundamentales el amasado, fermentación y el horneado o cocción.⁽²⁾

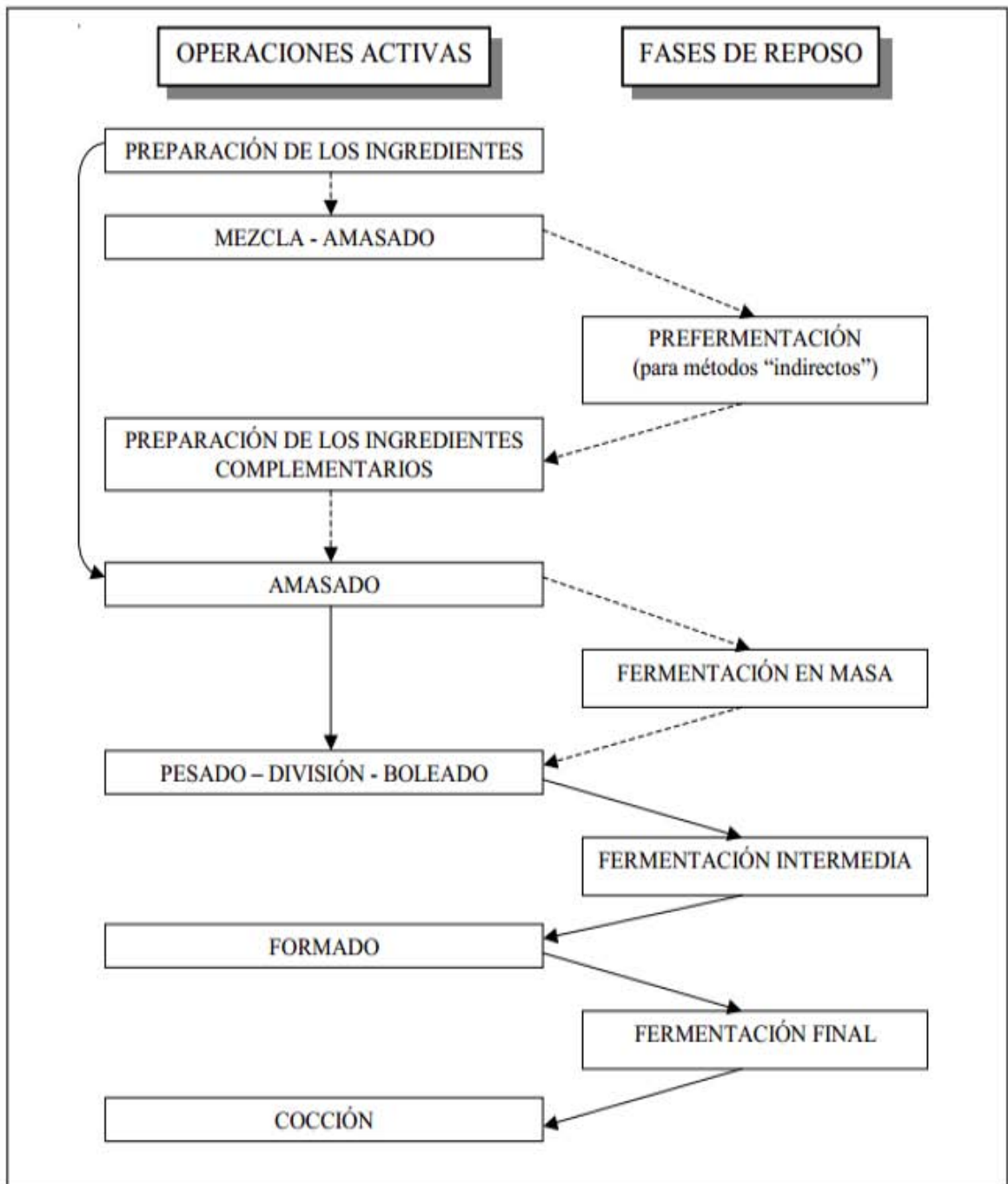


Figura1. Diagrama de flujo del proceso de elaboración de pan. Operación fija (línea continua). Operación opcional (línea discontinua)⁽²⁾

1.2 TIPOS DE HARINA DE PANIFICACIÓN Y SUS CARACTERÍSTICAS.

Por harina de trigo se entiende el producto elaborado por granos de trigo común *Triticum aestivum* L. o con trigo ramificado *Triticum compactum* Host. O una mezcla de los mismos que ha sido envasada y esta lista para la venta al consumidor o bien para la elaboración de otros productos alimenticios.⁽¹³⁾

La harina tiene cuatro funciones importantes dentro de la panificación que son: dar textura y consistencia al producto, dependiendo del tipo de harina; contribuye al sabor, el cual viene de los distintos granos con los que se elabora; aporta valor nutricional al producto, ya que contiene proteínas, carbohidratos, grasas, vitaminas y minerales; además actúa como agente absorbente, desde que tiene contacto con un medio líquido.⁽¹³⁾

Se divide según al tipo de grano de origen, la harina que se produce de los trigos blandos el cual contiene un bajo contenido proteico es destinada a la industria panificadora, mientras que la obtenida por los trigos duros la cual tiene un aporte proteico mayor es destinado para la producción de pastelería o alimentos caseros.^{(11) (25)}

Las harinas ricas en proteínas son las empleadas para hacer pan, como las harinas de salvado o germen de trigo; éstas dan como resultado panes más densos y sabrosos. El porqué de obtener un pan denso, se debe a que en la harina de estos granos, la proteína no está dentro del núcleo del gluten si no alrededor; por lo que la levadura actúa de manera distinta respecto a los incrementos volumétricos del pan.⁽¹³⁾

Los componentes de las harinas de fuerza, proporcionan a la masa una mayor estabilidad para poder elaborar distintas recetas; con esta harina conseguimos que la masa recupere su forma original y la podemos extender ampliamente sin que se fragmente; además es ideal para utilizar en elaboraciones que contengan una gran cantidad de azúcar, grasas o líquidos; ya que la materia grasa contrarresta el efecto de las proteínas y resistirá a la fermentación sin desbaratarse.⁽¹¹⁾⁽³⁸⁾

CARACTERÍSTICAS DE LA HARINA.

- Color: Este es de un blanco a blanco cremoso dependiendo del tipo de trigo a utilizar.
- Extracción: Se obtiene después del proceso de molienda. Por cada 100 kg de trigo se obtiene de 72 a 76 Kg de harina.
- Fuerza: Es el poder de la harina para elaborar panes de buena calidad.
- Tolerancia: Se le denomina al tiempo transcurrido después de la fermentación ideal sin que la masa sufra deterioro notable.
- Absorción: Es la propiedad de absorber mayor cantidad de agua siendo las que tienen mejor absorción aquellas harinas ricas en proteínas.
- Maduración: Se refiere al tiempo de reposo de las harinas para que estas adquieran sus propiedades funcionales finales.
- Blanqueo: Estas pueden ser blanqueadas por diversos procedimientos químicos.

- Enriquecimiento: Este se lleva a cabo al incorporarle a la harina vitaminas y minerales adicionales a las que contiene por naturaleza propia. ^{(11) (25)}

CLASES DE HARINA PARA PAN.

- Harina Integral: Es aquella que contiene todas las partes del trigo (endospermo, salvado y germen).
- Harina completa: Solo se utiliza el endospermo.
- Harina patente: Es la mejor harina y se obtiene del centro del endospermo.
- Harina clara: Es la que queda después de separar la patente. ^{(11) (25)(38)}

En la industria del pan las harinas de mayor uso y relevancia son la harina integral, completa y de patente, la composición química de estas se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Composición química de los diferentes tipos de harina utilizada en la industria de panificación.
⁽²⁾⁽⁷⁾⁽⁸⁾⁽¹¹⁾⁽¹⁵⁾

Tipo de Harina	Proteínas (%)	Lípidos (%)	Carbohidratos (%)	Otros Componentes (%)
Harina Integral	6.8	1.87	74.57	16.76
Harina Completa	8.4	1.3	75.89	14.41
Harina de Patente	10.1	1.1	74.8	14

COMPONENTES CARACTERÍSTICOS DE LA HARINA.

La harina debe ser suave al tacto, de color natural, sin sabores extraños a rancio, moho, amargo o dulce, debe presentar una apariencia uniforme sin puntos negros, libre de insectos vivos o muertos, cuerpos extraños y olores anormales su composición química se presenta en la tabla 2.

Tabla 2. Composición química de la harina de trigo. ⁽¹³⁾

COMPOSICION	PORCENTAJE
CARBOHIDRATOS	74-76%
PROTEINAS	9-11%
LIPIDOS	1-2%
AGUA	11-14%
MINERALES	1-2%

- Carbohidratos: Formados por compuestos químicos como carbono, hidrógeno y oxígeno estos constituyen la mayor parte del endospermo, es el componente principal de la harina lo integra un polisacárido de glucosa (almidón) insoluble en agua fría, pero sometándolo a un calentamiento experimenta un ligero hinchamiento esto se da por la desnaturalización

del mismo que ocurre a los 60°C. El almidón está constituido por dos tipos de cadena la amilosa que es un polímero de cadena lineal y la amilopectina un polímero de cadena ramificada, junto con el almidón se encuentran dos enzimas la α y β amilasa las cuales cumplen la función de degradar el almidón hasta dextrina, maltosa y glucosa que servirá de alimento a las levaduras durante la fermentación.

- **Proteínas:** Son sustancias nitrogenadas y se clasifican en proteínas solubles las cuales existen en poca cantidad en el grano e insolubles que son las que forman el gluten. La cantidad de proteínas varía mucho según el tipo de trigo, la época de recolección y la tasa de extracción.
- **Lípidos.** La grasa de la harina procede de los residuos de las envolturas y de partículas del germen. El contenido de grasas depende por tanto del grado de extracción de la harina. Mientras mayor sea su contenido en grasa más fácilmente se enranciará.
- **Humedad.** La humedad de una harina, según la norma CODEX- STAN.1995, no puede sobrepasar el 15.5% m/m. Naturalmente la harina puede estar más seca.
- **Minerales.** Existe una clasificación de harinas de acuerdo a la materia mineral que contiene determinando el contenido máximo de cenizas para cada tipo. Las cenizas están formadas principalmente por calcio, magnesio, sodio, potasio, etc., procedentes de la parte externa del grano, que se incorporan a la harina según su tasa de extracción. Para determinar el porcentaje de ellas es necesaria la incineración de las harinas. A menor proporción de cenizas mayor pureza de la harina (0000). La de 3 ceros es más oscura y absorbe más cantidad de agua.
- **Vitaminas.** Se le puede adicionar vitamina B1, B2, A Y E con el fin de enriquecer el producto.⁽¹³⁾⁽⁴⁹⁾

1.3 PROTEINAS DE TRIGO.

Las proteínas son macromoléculas orgánicas constituidas básicamente por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno. Son biopolímeros es decir su constitución se debe a una repetición de monómeros estructurales. Debido a su gran tamaño cuando estas moléculas se dispersan en un medio disolvente adecuado forman dispersiones coloidales con características que las diferencian de las disoluciones de moléculas más pequeñas.⁽³¹⁾

Por hidrólisis las moléculas de proteína se escinde en numerosos compuestos relativamente simples, de masa pequeña, que son las unidades fundamentales constituyentes de la macromolécula los aminoácidos.

Puesto que sólo asimilamos aminoácidos y no proteínas completas es necesario que esta pierda su estado nativo, este proceso tiene lugar en dos etapas, la primera reversible la cual corresponde al proceso de desplegamiento (desnaturalización) y la segunda irreversible que conduce a un estado final de degradación de la proteína que implica la pérdida total de actividad de la proteína.

Las proteínas que constituyen la harina de trigo son holoproteínas globulares, unidas por enlaces disulfuro, estas son la glutenina en un 39% y la gliadina en un 45%, que en conjunto conforman el gluten. ⁽¹⁾

GLIADINA.

La gliadina es una glucoproteína presente en el trigo y se distingue en base a su motilidad electroforética y su enfoque isoelectrónico, está compuesta por una estructura monomérica con bajo peso molecular y contiene solamente uniones intramoleculares disulfuro. Los monómeros de la gliadina no son elásticos y al hidratarse se vuelven muy viscosos y extensibles. La gliadina permite que el gluten se expanda cuando se aplican fuerzas externas por ejemplo la presión del anhídrido carbónico durante la fermentación. ⁽¹⁾⁽⁴⁾⁽¹⁵⁾

GLUTENINA.

La glutenina está formada por un número de subunidades de aminoácidos, unidas a través de enlaces intermoleculares disulfuro, que forman polímeros proteínicos de elevado peso molecular. Debido a su estructura polimérica flexible, la glutenina es extremadamente elástica y proporcionan baja extensibilidad. Esta proteína resiste la deformación exterior y da fuerza al gluten.

Lograr el equilibrio adecuado de ambos componentes es fundamental para el comportamiento óptimo del gluten vital de trigo. En la masa de pan un contenido muy alto en glutenina dará lugar a un gluten demasiado fuerte, con propiedades de expansión inaceptables. A su vez, un contenido alto de gliadina da como resultado un gluten con poca capacidad para retener gas. La temperatura de desnaturalización del gluten se efectúa a los 70°C esto ocurre cuando una fracción de este se insolubiliza. ⁽¹⁾⁽⁴⁾⁽¹⁵⁾

La figura 2 esquematiza a la unión de las estructuras de gliadina y glutenina para la formación de la red de gluten de trigo.

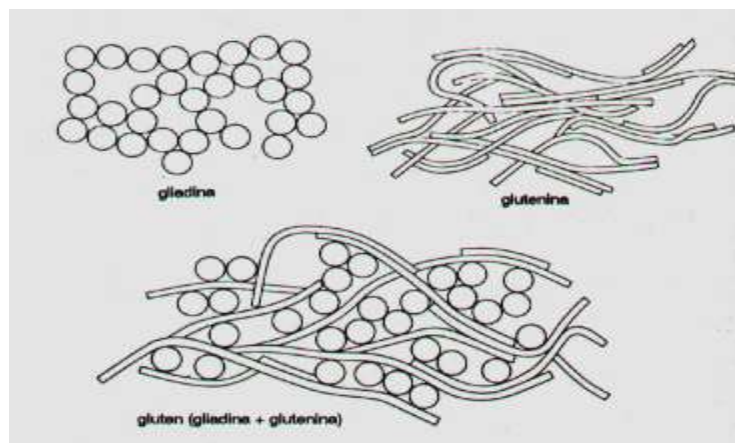


Figura 2. Unión estructural de la gliadina y glutenina para la obtención de gluten. ⁽³⁸⁾

1.4 GRENETINA.

La grenetina es una proteína, producida bajo una hidrólisis controlada de colágeno de las pieles, tejidos y huesos de los animales. Es una proteína fibrosa que tiene una única y distintiva secuencia de aminoácidos, es una proteína anfotérica con un punto isoiónico de 5 y 9 dependiendo de la materia prima y método de obtención, su enlace peptídico tiene carácter aromático, los aminoácidos que conforman a esta proteína se mencionan en la tabla 3.^{(17) (42)}

Tabla 3. Proteínas presentes en grenetina obtenida de hidrolización parcial de colágeno.⁽³⁷⁾

AMINOACIDO	PORCENTAJE
Glicina	21%
Prolina	12%
*Hidroxiprolina	12%
Acido glutamico	10%
Alanina	9%
Arginina	8%
Aspartato	6%
Lisina	4%
Serina	4%
Leucina	3%
Valina	2%
Fenilalanina	2%
Treonina	2%
Isoleucina	1%
*Hidroxilisina	1%
Metionina, Histidina	≤1%
Tirosina	≤1%

La hidroxilisina e hidroxiprolina se encuentran presentes como residuos de sus aminoácidos de origen por el proceso de hidrolización parcial de colágeno.

Tanto la lisina como la hidroxilisina participan en la formación de entrecruzamientos covalentes entre las cadenas proteínicas y sirven como sitio de unión para los carbohidratos; mientras que la hidroxiprolina contribuye esencialmente a la agrupación y estabilización de la triple hélice.^{(9)(26) (54)}

En resumen la proteína se compone de trillizos péptido, glicina –X-Y, donde Y y X puede ser cualquiera de los aminoácidos prolina, pero tiene preferencia por la posición X y la hidroxiprolina por la posición Y, La proteína está constituida por alrededor de 1050 aminoácidos que producen una cadena α con conformación de hélice prolina.⁽³⁷⁾

La grenetina sufre una desnaturalización en medios ácidos, el colágeno que es su proteína de origen tiene una temperatura de desnaturalización de 50°C al obtener la grenetina como subproducto tiene una hidrólisis limitada de la asparagina y la glutamina que son las cadenas laterales de la proteína por lo que la desnaturalización de la grenetina ocurre a 40°C y se hidrata en un periodo de tiempo de 30 minutos.⁽¹¹⁾⁽¹⁵⁾

La grenetina es un hidrocoloide altamente versátil en aplicaciones tecnológicas. Tiene las siguientes propiedades funcionales principalmente: incrementa la viscosidad de los productos, provee una textura especial debido a su poder de gelación, forma y estabiliza emulsiones, prevé la

recristalización, aglutina por adhesión, estabiliza suspensiones, clarifica bebidas, forma espumas ya que es un gran estabilizador de estos sistemas en conjunto con el lauril sulfato de sodio y la formación de películas, además de ser usada para bajar el valor calórico de los alimentos incrementando su contenido de agua o reemplazando parte del azúcar o grasa normalmente usada.⁽¹¹⁾⁽¹⁵⁾

INTERACCIÓN DE LA GRENETINA CON OTROS ELEMENTOS.

- Sacarosa, monosacáridos y polioles: Las moléculas pequeñas del azúcar, monosacáridos y polioles tienen efecto estabilizante en el gel de grenetina. Se cree esto debido a que ellos interactúan de manera directa con las moléculas de grenetina para incrementar la formación de puentes de hidrogeno lo que ocasiona la formación de una gelificación mayor y la resistencia a temperaturas se incrementen.
- Glucosa. La interacción entre la glucosa y la gelatina es muy compleja ya que a baja concentración la glucosa refuerza el gel de la gelatina muy similar a los polisacáridos y polioles , pero en altas concentraciones alguna incompatibilidad puede ocurrir y se puede presentar una fase de separación debido a la falta de agua disponible, se cree que a elevadas concentraciones de glucosa en el sistema excluye a la gelatina de una fase continua lo que provoca turbidez en el gel, al no estar en una fase continua la gelatina no tiene poder de gel uniforme esto se ve repercutido por el peso molecular , el contenido de cenizas y la carga de la molécula de la grenetina.⁽¹⁷⁾⁽⁴²⁾

GRENETINA COMBINADA CON OTROS HIDROCOLOIDES.

- Almidón: La mezcla entre grenetina y almidón otorga una textura intermedia entre estos dos componentes, mejora la estabilidad del producto cuando es sometido a calentamiento por la mayor exposición de los puntos de anclaje de los dos hidrocoloides que se encuentran en la interacción.
- Pectina: la combinación de estos componentes puede ser usada para reducir la pegajosidad y adhesividad en los alimentos, la unión pectina- grenetina se presenta por afinidad molecular y puentes de hidrógeno en interacción acuosa.
- Goma arábiga: Este hidrocoloide solamente es usado en aquellas áreas donde se requiera resistencia en las temperaturas ya que al combinarse aumenta su punto de reblandecimiento (temperatura a la cual se inicia su deformidad térmica).⁽¹⁷⁾⁽⁴²⁾

1.5 GOMA DE MEZQUITE.

Las gomas naturales se han empleado ampliamente para una gran variedad de aplicaciones industriales debidas a sus propiedades emulsificantes, microencapsulante, espesante y estabilizantes entre otras.

La goma de mezquite es el exudado de color ámbar producida por los arboles *Prosopis spp.* En respuesta a factores bióticos y abiótico o que se encuentren en condiciones de estrés por calor o de humedades altas.

Químicamente es la sal neutra de un polisacárido ramificado de naturaleza acida formado por un núcleo de residuos de β -D-galactosa, constituyendo un esqueleto de uniones (1-3) y ramificaciones (1-6) conteniendo L- arabinosa, L-ramnosa, β -D-glucoronato y 4-o-metil- β -glucoronato como azucares simples o cadenas laterales de oligosacaridos. La goma de mezquite también contiene una pequeña cantidad de proteína (0.7-5.8%) ubicada en la parte central de la estructura principal, siendo químicamente muy similar a la goma arábica como se esquematiza en la figura 3.

Esta goma está constituida por 5 fracciones: la fracción 1 representa más del 85% del total de la goma, sin embargo, se encontró que es la más baja en nivel proteico (3.7% del total de la proteína) las fracciones 2 y 3 contribuyen aproximadamente con el 11% del total de la goma y contiene aproximadamente el 25% del total proteico, mientras que las fracciones 4 y 5 contribuyen con aproximadamente el 72% del total proteico a pesar de constituir solamente el 3.7 del total de la goma, se plantea que las fracciones 2 y 3 pueden ser las responsables de las propiedades emulsificantes de la goma de mezquite, su composición química general y de azucares se especifica en la tabla 4 y 5 respectivamente .⁽¹⁰⁾⁽²⁹⁾

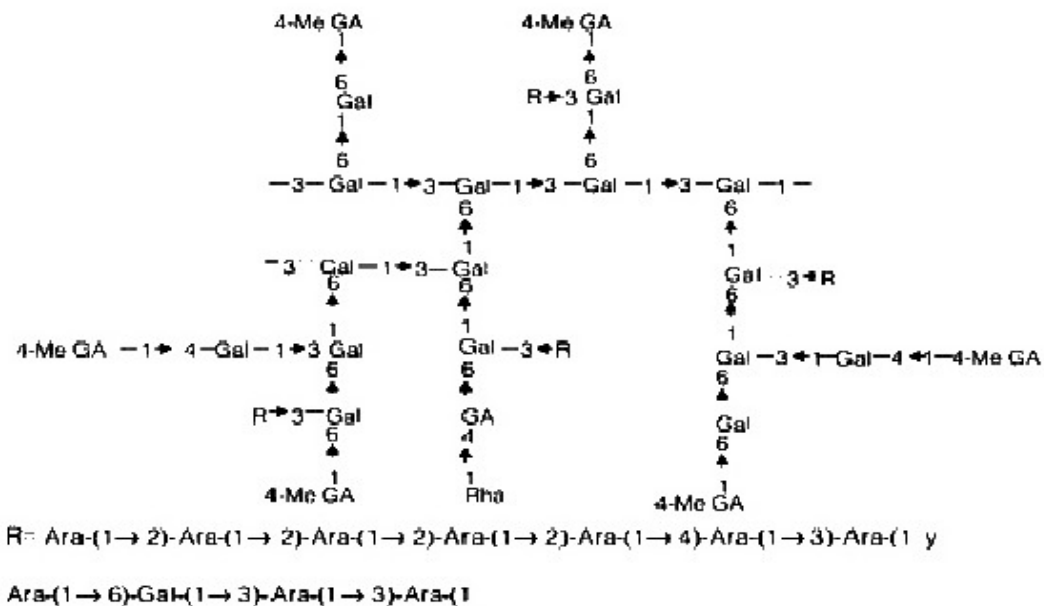


Figura 3. Estructura química de la goma de mezquite.⁽¹⁰⁾

Tabla 4. Composición química de la goma de mezquite. ⁽²⁹⁾

COMPONENTE	PORCENTAJE
Humedad	10.6 ± 0.5%
Cenizas	2.2 ± 0.1%
Rotación específica	+77°
Nitrógeno (Kjeldahl)	0.4 ± 0.007%
Proteína	2.7 ± 0.06%
Azúcares Totales	87.3 ± 6.3%

Tabla 5. Composición de azúcares de la goma de mezquite. ⁽¹⁰⁾

COMPONENTE	PORCENTAJE
Acido glucoronico	16.2 ± 1.3 %
Galactosa	43.3 ± 1.4 %
Arabinosa	40.4 ± 2.04%
Ramnosa	1.3 ± 0.2%

Por otro lado se ha determinado que la goma de mezquite es un polielectrolito, es decir, una macromolécula que posee un gran número de grupos ionizables. En dilución, las moléculas de la goma se disocian en un macro-ión polivalente y en un gran número de contraiones, generando un campo electrostático cuya naturaleza e interacciones determinan la conformación de la goma en dispersión. ⁽⁸⁾⁽²³⁾

La viscosidad de la goma se incrementa conforme aumenta el pH de 4 a 7 debido a la sustitución de iones H⁺ por los iones de Na⁺. Estos últimos al tener mayor grado de disociación induce al desdoblamiento del macro-ión con el consecuente aumento de viscosidad. A pH de 7 a 9 la viscosidad vuelve a disminuir debido a que el macro-ión no puede expandirse indefinidamente debido a impedimentos estéricos y como la cantidad de contraiones de Na⁺ aumenta, estos cubren sitios cargados del macro-ión provocando su encogimiento, disminuyendo la viscosidad de la solución. ^{(10) (29)}

La goma de mezquite es un agente emulsificante muy efectivo, esta propiedad está relacionada con su contenido proteico, el cual confiere un modelo de estructura "Wattle-blosson", que se esquematiza en la figura 4, en la que los residuos de aminoácidos se anclan en la interfase y los bloques de carbohidratos se extiende en la solución acuosa, evitando la floculación y coalescencia de las gotas debido a efectos estéricos. Estas características y propiedades le confieren un gran potencial para su uso como material estructural de emulsiones, recubrimientos, películas comestibles entre otras. ⁽¹⁰⁾⁽²⁹⁾

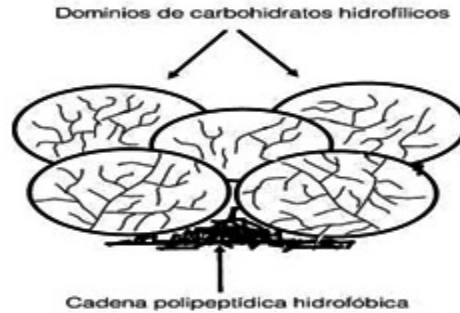


Figura 4. Modelo de estructura "Wattle-blosson" presente en la goma de mezquite. ⁽²⁹⁾

PROPIEDADES EMULSIFICANTES.

La aplicación industrial de polímeros naturales se fundamenta en la capacidad para modificar las propiedades reológicas de los sistemas acuosos. Estos hidrocoloides tienen la propiedad de inmovilizar las moléculas de agua a través de sitios específicos hidrófobos e ionizables presentes en su estructura. Los hidrocoloides que contienen proteína como la goma de mezquite son buenos estabilizadores, ya que tienen suficientes grupos hidrofóbicos para actuar como puntos de anclaje o unión. Así mismo, contienen muchos grupos hidrofílicos para reducir la tensión superficial en una interfase líquido-líquido o líquido-gas. El estudio de las propiedades emulsificantes del exudado de mezquite se ha intensificado en los últimos años, debido a su habilidad para formar películas viscoelásticas en la interfase agua-aceite y porque se ha supuesto que el mecanismo de emulsificación está estrechamente relacionado con el contenido de proteína de la goma. La goma de mezquite, presenta además propiedades como estabilizador, debido a la posibilidad de formar dispersiones concentradas (50% p/p), sin aumentar la viscosidad de la misma. ⁽¹⁰⁾⁽²⁹⁾

PROPIEDADES DE SUPERFICIE.

El estudio de sustancias anfifílicas en interfases aire-agua y aceite-agua es importante para conocer las interacciones intermoleculares entre los componentes de la interfase y los componentes de la subfase acuosa. Éstas están involucradas en el proceso de adsorción y la consecuente reducción de la tensión de superficie. ⁽¹⁰⁾⁽²⁹⁾

1.6 LECITINA DE SOYA.

La lecitina generalmente se refiere a una mezcla compleja y natural de fosfátidos obtenida del desgomado de la soya. Los tres principales fosfátidos de la lecitina son: fosfatidil colina, fosfatidil etanolamina y fosfatidil inositol. Fosfatidil colina y fosfatidil etanolamina son catiónicos y aniónicos al mismo tiempo, sin embargo fosfatidil inositol es un ácido relativamente fuerte de tipo aniónico. ⁽³⁴⁾

La lecitina comercial es una mezcla de fosfátidos que actúa como agente humectante y emulsificante, en sistemas heterogéneos tales como los formados por agua y aceite, las moléculas de fosfátidos se arreglan por sí solas en capas monomoleculares con la porción de ácidos grasos de

cara a la fase oleica y la fracción del amino o la parte del ácido fosfórico de cara a la superficie acuosa. La lecitina es soluble en solventes aromáticos y alifáticos, parcialmente soluble en alcohol etílico (principalmente la fracción de inositol) y prácticamente insoluble en agua y acetona. Es soluble en aceites animales y vegetales fríos, pero en aceites calientes tiene buena dispersión. Cuando se mezcla con agua se hidrata y forma dispersiones de color amarillo. Cuando es preparada adecuadamente la lecitina de soya prácticamente no tiene olor y tiene un sabor blando. El color de la lecitina de soya va de un tonó café a un amarillo ligero dependiendo de sus condiciones de manufactura y del grado de blanqueado.⁽³⁴⁾⁽⁴⁶⁾

La lecitina de soya puede ser modificada químicamente mediante hidrogenación, hidroxilación, acetilación, sulfonación y halogenación y enzimáticamente mediante hidrólisis para obtener productos con propiedades emulsificantes mejoradas con mejor dispersabilidad en medios acuosos.⁽³⁴⁾⁽⁴⁶⁾

La lecitina funciona como emulsificante en alimentos tales como mantequilla, margarina, chocolates, quesos; puede actuar como emulsificante W/O y O/W dependiendo del tipo de lecitina y los parámetros del sistema. Estos parámetros incluyen pH, componentes, contenidos de sólidos entre otros, puede controlar la cristalización en varios sistemas alimenticios tales como helados y alimentos que contienen azúcar y grasas modificadas el tamaño de los cristales o estructuras, lo que tiene un efecto positivo sobre la textura y viscosidad del producto.⁽³⁴⁾

La lecitina es generalmente utilizada en concentraciones de 0.2 – 1% en base al peso del producto terminado. Si no se tiene otra información disponible una regla general es comenzar con 0.5% de lecitina en base al producto terminado. Estos niveles de uso son consistentes con los surfactantes químicos.⁽³⁴⁾⁽⁵³⁾

COMPOSICION QUIMICA DE LA LECITINA DE SOYA.

El proceso de refinado de la lecitina de soya no afecta directamente a la composición de ácidos grasos, pero remueve la mayoría de los pigmentos y disminuye el contenido de algunos componentes minoritarios como los tocoferoles y esteroides, la tabla 6 enuncia los componentes grasos presentes en la lecitina antes y después de su proceso de refinado.⁽⁵³⁾

Tabla 6. Composición de la lecitina de soya antes del proceso de refinamiento y como aceite refinado.⁽⁵³⁾

COMPONENTE	ACEITE CRUDO	ACEITE REFINADO
Triglicéridos	95-97	≥99
Fosfátidos	1.5-2.5	0.003-0.045
Material no saponificable	1.6	0.3
Esteroides	0.33	0.13
Tocoferoles	0.15-0.21	0.11-0.18
Hidrocarbonos	0.014	0.01
Ácidos grasos libres	0.03-0.7	≤ 0.05
Metales Traza	-----	-----
Fe (ppm)	1-3	0.1-0.3
Cu (ppm)	0.03-0.05	0.02-0.06

En suma a estos componentes se incluyen en su composición pequeñas cantidades de otros materiales incluyendo ceras, pigmentos y minerales. Las ceras se originan de la corteza de la semilla de soya y son esteres de cadena larga, ácidos grasos y alcoholes. Unos de los pigmentos importantes es el β -Caroteno, el cual es el responsable del color amarillo del aceite. ⁽⁵³⁾

ÁCIDOS GRASOS.

El contenido de ácidos grasos de la lecitina de soya se presenta en la tabla 7 respecto al porcentaje que la constituye. ⁽⁵³⁾

Tabla 7. Composición de ácidos grasos de la lecitina de soya. ⁽⁵³⁾

ÁCIDO GRASO	PORCENTAJE
Mirístico	0.1
Palmitico	10.5
Esteárico	3.2
Oleico	22.3
Linoleico	54.5
Linolenico	8.3
Araquidónico	0.2
Eicosenoico	0.9

Los triglicéridos de la lecitina de soya incluyen ácidos grasos saturados e insaturados. El único paso del proceso de refinación que tiene efecto sobre los tipos de ácidos grasos presentes es la hidrogenación parcial, la cual resulta en la formación de cantidades pequeñas de isómeros geométricos y posicionales de los ácidos mencionados en la tabla 7. ⁽³⁴⁾

PROPIEDADES FÍSICAS.

En la tabla 8 se muestran los valores representativos de las propiedades físicas de la lecitina de soya. ⁽³⁴⁾

Tabla 8. Propiedades físicas de la lecitina de soya. ⁽³⁴⁾

PROPIEDAD	VALOR
Gravedad específica 25° C	0.9175
Índice de refracción	1.4728
Viscosidad centipoises 25°C	50.09
Punto de Solidificación 25° C	-10 a -16
Calor Especifico (cal/g)	0.458
Calor de Combustión (cal/g)	9.478

La figura 5 esquematiza la estructura de la lecitina de soja, señalando la parte hidrófoba e hidrofílica que conforma la molécula.

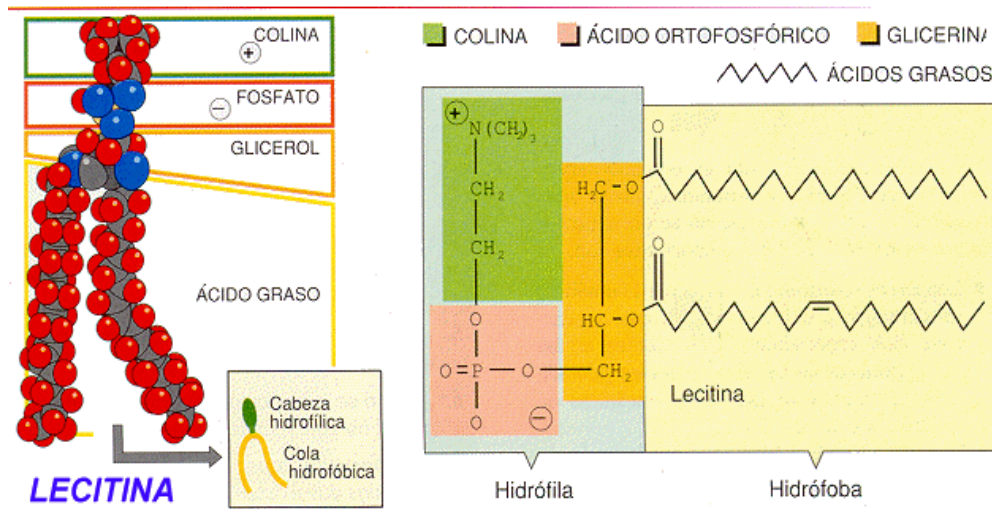


Figura 5. Fracción hidrófila e hidrófoba de lecitina de soja.

CAPITULO II GENERALIDADES DE SISTEMAS DISPERSOS Y FUNDAMENTOS FISICOQUÍMICO.

2.1 SISTEMAS DISPERSOS.

Son aquellos sistemas constituidos por dos fases o más no miscibles entre sí. Una de las fases está uniformemente distribuida en forma de partículas o gotas finamente divididas en el seno de otra fase que las engloba o encierra.⁽¹⁸⁾

Desde el punto de vista fisicoquímico estos sistemas son termodinámicamente inestables, las características más representativas de estos sistemas son:

1. La existencia de una superficie de separación entre las dos fases llamada interfase: La superficie de contacto entre las partículas y el medio de dispersión (área interfásica) es muy elevada. En esta interfase se concentra la mayor cantidad de energía del sistema.
2. Gran inestabilidad: El exceso de energía libre, asociada a la gran superficie existente entre las partículas y el medio, da lugar a que las partículas tiendan a aglomerarse, para reducir su energía libre interna.⁽¹⁸⁾

La diferencia cuando se habla de un sistema disperso y un sistema coloidal radica en que el sistema disperso generaliza los sistemas coloidales y acepta en su objeto de estudio sistemas con partículas de un tamaño mayor a las que presentan los sistemas coloidales, como es el caso de las suspensiones groseras, mientras que los sistemas coloidales se caracterizan por ser sustancias que consisten en un medio homogéneo y de partículas dispersadas en dicho medio. Estas partículas se caracterizan por ser mayores que las moléculas pero no lo suficientemente grandes como para ser vistas en el microscopio.⁽⁴⁸⁾

CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DISPERSOS.

Todos los componentes de los alimentos se encuentran en uno de los siguientes estados de dispersión: a) dispersión molecular o verdadera solución; b) dispersión coloidal; c) dispersión gruesa. La diferencia entre ellos se basa en el tamaño de partícula. La verdadera solución está formada por una sola fase constituida por partículas de bajo peso molecular, como son las sales y los azúcares que se homogenizan rápidamente en agua. Los polímeros como el almidón o las proteínas no se disuelven sino que crean un sistema heterogéneo llamado coloide, compuesto por dos fases distintas. El tercer estado de dispersión es lo que se llama dispersión gruesa; en el las partículas son de un tamaño mayor y tienden a la sedimentación.

Los sistemas dispersos se caracterizan por estar integrados por dos o más fases: una discontinua también conocida como fase dispersa o externa y otra, llamada continua, fase dispersante o interna, que puede ser agua, solución acuosa o aceite. Las partículas de mayor tamaño producen la fase dispersa y se encuentran distribuidas entre las partículas de peso molecular bajo de la fase dispersante

Los coloides que están formados por dos fases se llaman simples y pueden existir en 8 combinaciones distintas, como lo expresa la tabla 9 que clasifica a los diversos sistemas dispersos en alimentos en relación a su fase dispersa, continua y tamaño de partícula. ⁽⁴⁾

Tabla 9. Clasificación de los sistemas dispersos en alimentos. ⁽⁴⁾⁽¹⁸⁾

Nombre	Fase dispersa	Fase continua	Tamaño de partícula	Ejemplo
Sol	Sólido	Líquido	≥1 nm	Leche descremada
Espuma	Gas	Líquido	1 micrón- 1nm	Crema batida
Espuma Sólida	Gas	Sólido	1 micrón- 1nm	Helado, Pan
Emulsión	Líquido	Líquido	1 micrón- 1nm	Mayonesa
Gel	Líquido	Sólido	1 micrón- 1nm	Gelatina
Aerosol (humo)	Sólido	Gas	1 micrón- 1nm	Humo para cárnicos
Aerosol (nube)	Líquido	Gas	1 micrón- 1nm	Poco importantes
Sol sólido	Sólido	Sólido	≥1 nm	Poco importantes

FACTORES PARA LOGRAR LA ESTABILIDAD EN LOS SISTEMAS DISPERSOS.

La estabilidad de los sistemas dispersos depende de múltiples factores mencionados a continuación.

- Grado de dispersión de la fase interna. Si el grado de dispersión de la fase interna es elevado y homogéneo, aumenta la estabilidad del sistema
- Viscosidad. El agregado de sustancias con propiedades reológicas a un sistema disperso favorece la estabilidad. Al aumentar la viscosidad del medio dificulta la movilidad de las partículas impidiendo que se aproximen.
- Carga eléctrica de las partículas dispersas. Las partículas dispersas en un medio líquido tienden a cargarse eléctricamente por adsorción de iones del medio o por pérdida de iones de la partícula. Se forma una doble capa eléctrica que origina fuerzas de repulsión entre partículas de cargas eléctricas similares (evitando su acercamiento).
- Temperatura. El aumento de la temperatura reduce la estabilidad de los sistemas dispersos al disminuir la viscosidad y aumentar la movilidad de las partículas. ⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾

PROPIEDADES DE LOS SISTEMAS DISPERSOS.

La fase interna por su tamaño le confiere al sistema propiedades características que se mencionan a continuación:

- Propiedades ópticas (Efecto Tyndall): Es una forma de distinguir una solución verdadera de una dispersión coloidal. Cuando se hace incidir un rayo de luz a través de una solución verdadera, las partículas del soluto son tan pequeñas que el rayo de luz no es dispersado en ninguna dirección.
- Propiedades cinéticas (Movimiento Browniano): Consiste en que las partículas cambian de velocidad y de dirección, de manera continua y aleatoria, se debe a las colisiones de los coloides con las partículas del medio dispersante, razón que impide la sedimentación de la fase dispersa.
- Propiedades eléctricas: Las partículas coloidales están cargadas eléctricamente con respecto al medio dispersante, dando lugar a la formación de coloides positivos o negativos, los cuales interactúan con las moléculas polares del agua a través de la fuerza de atracción ión- dipolo. Además, si los coloides formados son positivos, la repulsión de las partículas de carga similar contribuye a su estabilidad y a evitar su aglomeración. ^{(18) (19)}

2.2 COLOIDES HIDROFÓBICOS E HIDROFÍLICOS.

CARACTERÍSTICAS DE LOS COLOIDES HIDROFOBOS.

- No modifican la viscosidad, ni la tensión superficial del medio dispersante.
- Alta sensibilidad a los electrolitos que influyen sobre la carga eléctrica que circunda a la partícula.
- Inestabilidad por efecto de la diálisis.
- Pequeñas cantidades de electrolitos estabilizan un coloide hidrófobo.
- Presentan efecto Tyndall debido a la diferencia en el índice de refracción de las fases dispersa y dispersante. Las partículas coloidales por su tamaño pequeño reflejan la luz produciendo este efecto (fácilmente detectadas con el ultramicroscopio).
- Forman por separación sólidos que son difíciles de suspender en agua (coloides irreversibles).
- Presentan una gran superficie al medio de dispersión, lo que determina una conducta especial de estas partículas (se distribuyen por todo el medio de dispersión).
- Partículas generalmente inorgánicas.
- No se forman espontáneamente.
- Presentan movimiento Browniano. Consiste en un movimiento desordenado continuo con trayectorias de zigzag lo cual mantiene a las partículas dispersas. ⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾

CARACTERÍSTICAS DE LOS COLOIDES HIDROFILICOS.

- Viscosidad superior a la del medio dispersante: Las moléculas fuertemente hidratadas aumentan la viscosidad del medio.
- Tensión superficial un tanto menor que la del medio dispersante.
- Poca sensibilidad frente a los electrolitos (no modifican mayormente su aspecto por el agregado de sales).
- Más estables con el tiempo por su gran hidrofilia y carga eléctrica; no separan la fase dispersa. Salvo si someten a cambios bruscos de temperaturas y de pH.
- Presentan efecto Tyndall débil (no es fácil detectarlo con el ultramicroscopio).
- Por pérdida de agua pueden formar geles, pero son fácilmente redispersables.
- No presentan movimiento browniano notable, las moléculas están inmovilizadas por el manto de hidratación.⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾

ESTABILIZACIÓN DE COLOIDES.

1. Con una pequeña cantidad de electrolitos: Se forma una doble capa eléctrica sobre la superficie de las partículas. Las partículas se cargan todas iguales, se repelen, evitando la coagulación. Todo sólido sumergido en un líquido tiende a cargarse eléctricamente en su superficie ya sea por adsorción de iones del medio o por ionización de grupos funcionales en su superficie en estos casos el pH del medio juega un papel importante.
Según la concentración de electrolitos que se agregue a un coloide éstos pueden actuar como peptidizante cuando las cantidades pequeñas de electrolitos dispersan las partículas coloidales, o bien como coagulante ya que cantidades muy grandes de electrolitos rompen el equilibrio del sistema.
2. Con coloides protectores: son coloides hidrofílicos que forman alrededor de cada partícula un retículo altamente hidrofílico (película protectora), que evita el choque de partículas.
3. Tensoactivos iónicos: se comportan igual que los electrolitos.
4. Tensoactivos no iónicos: tipo Tween. Forman una barrera estérica que impide el acercamiento de las partículas y por lo tanto la coagulación.

Las partículas coloidales están sometidas a fuerzas de atracción y repulsión. Existe un balance entre dichas fuerzas, el movimiento browniano produce colisión entre partículas, si predominan las fuerzas de repulsión las partículas permanecen separadas después de la colisión. Las fuerzas de repulsión provienen de las cargas eléctricas que se encuentran en la superficie de las partículas. Si por el contrario las fuerzas que predominan son las de atracción las partículas se aglomeran después de la colisión. Las fuerzas de atracción son las fuerzas de Van der Waals.⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾

2.3 INTERACCIÓN PROTEÍNA- PROTEÍNA.

Las proteínas tienen la capacidad de interactuar con compuestos muy diversos como el agua, los lípidos, los hidratos de carbono y otros polipéptidos iguales o diferentes a través de diversos tipos de uniones como covalente, iónica o puentes de hidrógeno. ⁽⁴⁾

Todos los sistemas proteínicos naturales que tienen una estructura cuaternaria son un ejemplo de asociación proteína- proteína estabilizados por uniones débiles, estas relaciones se producen más fácilmente cuanto más se incrementa la concentración, pero también influyen en forma decisiva el pH, la temperatura, la fuerza iónica, etc. Por esta razón el polímero puede asociarse entre si este o no desnaturizado. ⁽⁴⁾

Una proteína es muy estable en solución a un pH alejado de su punto isoeléctrico y a medida que se acerca a él las fuerzas de repulsión estabilizantes disminuyen; en estas condiciones algunas tienden a asociarse y formar complejos que tienden a precipitar por ser insolubles. La supresión de las cargas eléctrica de estabilización por adición de álcalis o ácidos también implica una desnaturización que neutraliza sus cargas y puede dar lugar a la formación de redes tridimensionales mediante puentes de hidrógeno, o bien la formación de coágulos por enlaces de hidrógeno, hidrófobas o salinas. ⁽⁴⁾

EFFECTO DE PEPTIDOS EN LA TRANSICIÓN DE FASE DEL ESTADO NATIVO AL DESNATURALIZADO.

- Interacción superficial electrostática: Incremento en la entalpía de transición (ΔH) y la temperatura media del cambio de fase (T_m).
- Interacción superficial electrostática e inserción parcial en la membrana: disminución en la entalpía de transición (ΔH) y la temperatura media del cambio de fase (T_m).
- Inserción en la membrana: Disminución lineal en (ΔH) dependiente de concentración de proteína, sin cambios en la temperatura media del cambio de fase (T_m).

2.4 INTERACCIÓN PROTEÍNA – POLISACÁRIDO.

Además de que estos polímeros pueden interactuar con el agua y con moléculas semejantes, su relación con los otros constituyentes de los alimentos es fundamental para establecer propiedades reológicas y de textura en cada caso. En forma natural se observa una gran variedad de asociaciones proteína-polisacárido; sin embargo en el procesamiento y principalmente por efecto de altas temperaturas se inducen otras asociaciones, generalmente las uniones químicas que se establecen son hidrófobas, hidrófilas, electrostáticas y salinas que al someterse a un calentamiento puede generar enlaces covalentes como los que se presentan en los azúcares reductores y en los grupos amino de la reacción de Maillard. En ausencia de azúcares reductores, las proteínas sometidas a tratamientos térmicos muy drásticos reaccionan intra e intermolecularmente para formar nuevos enlaces covalentes denominados isopeptídicos, éste se forma por la condensación de los grupos amino de la proteína presente y no por la unión del carboxilo con la amina como normalmente sucede. ⁽⁴⁾

Los responsables de la textura de diversos productos son los polipéptidos y polisacáridos y la relación entre ellos ya que se presenta una asociación entre los grupos carboxilo de los carbohidratos y el punto isoeléctrico de la proteína, su unión está en función del pH, este factor modifica consecuentemente la carga y el grado de ionización de los dos polímeros. ⁽⁴⁾

En la elaboración de muchos alimentos se adicionan polisacáridos para incrementar la viscosidad y lograr la textura deseada; algunos de estos hidratos de carbono tienen grupos funcionales muy activos como es el caso de aquellos que contienen grupos sulfato en su composición, en el caso de carbohidratos neutrales como el almidón no existen moléculas ionizables y el enlace se efectúa por puentes de hidrogeno o iónicas y solo en casos especiales covalentes o hidrófobas , la influencia de estas interacciones se observa en el cambio de su punto isoeléctrico y la estabilidad del complejo depende del pH y de la fuerza iónica del sistema. ⁽⁴⁾

Cuando intervienen carbohidratos en algunos productos se llega a bajar el valor nutritivo del alimento debido a que interfiere en el metabolismo normal de las proteínas reduciendo la digestibilidad de estas por la acción de espesantes ya que el complejo que se forma es difícil de ser atacado por enzimas proteolíticas. ⁽⁴⁾

2.5 INTERACCIÓN PROTEÍNA – TENSOACTIVO.

Debido a su carácter anfótero las proteínas son capaces de fijar ácidos y bases. Este comportamiento les permite reaccionar a través de sus grupos básicos con sustancias aniónicas cuando el pH del medio se encuentra por debajo del punto isoeléctrico de la proteína y con sus grupos ácidos interaccionan con compuestos catiónicos cuando el pH está por encima del punto isoeléctrico. ⁽³⁴⁾⁽⁴⁶⁾

Teniendo en cuenta esta característica general de las proteínas, estas pueden interactuar por su capacidad de absorción molecular con tensoactivos de diferente naturaleza. Los tensoactivos con carácter aniónico interactúan con las proteínas por atracción electrostática, dejando a los grupos lipofílicos dirigidos hacia el exterior de la molécula, llegando a la formación de la denominada primer capa de adsorción que neutraliza las cargas de los grupos básicos de la proteína y que favorece a la precipitación de la misma. ⁽³⁴⁾⁽⁴⁶⁾

La capacidad de fijación de las proteínas depende generalmente de las fuerzas electrostáticas que se establecen entre grupos con carga de signo contrario y de las fuerzas de Van der Waals establecidas entre las cadenas hidrocarbonadas de las moléculas del tensoactivo y las cadenas laterales no polares de los residuos de aminoácidos de la proteína. El fenómeno de hinchamiento entre la interacción tensoactivo- proteína se debe a la formación de compuestos de adición entre los restos hidrocarbonados hidrófobos del tensoactivo y las cadenas laterales apolares entre los aminoácidos de las proteínas. Los humectantes así unidos atraen hacia el sistema de la molécula una envoltura de agua gracias a los grupos iónicos hidrofílicos de los tensoactivos. ⁽²³⁾⁽³⁴⁾⁽⁴⁶⁾

INFLUENCIA DE LA POLARIDAD DEL MEDIO.

El agua es el medio donde más se favorece la interacción hidrófoba. Cualquier otro disolvente lo reduce o impide que tenga lugar.

Se han utilizado mezclas de etanol- agua, se produce un exceso significativo en la adsorción del tensoactivo al pasar de un medio acuoso a otro parcialmente etanólico mereciendo especial atención al efecto producido en el pH por el punto isoeléctrico dicho cambio hace que la adsorción del tensoactivo sea prácticamente nulo.

La formación del enlace hidrófobo es de carácter endotérmico, es decir que su estabilidad aumenta con el incremento de la temperatura hasta llegar a un máximo que se alcanza aproximadamente a los 60 °C, esto es de acuerdo en principio de la interacción hidrófoba en la fijación del tensoactivo sobre la proteína.⁽⁴⁶⁾⁽⁵³⁾

INFLUENCIA DE LA PRESENCIA DE ELECTRÓLITOS.

Otro factor que favorece las interacciones hidrófobas es la presencia de un electrólito en el medio acuoso que rodea la proteína. Es sabido que la solubilidad en agua con las sustancias de grupos no polares disminuye sensiblemente en medio salino. Por tanto en soluciones electrolíticas se fomenten las interacciones hidrófobas de las proteínas y en consecuencia se favorezca la adsorción de tensoactivos.⁽³¹⁾⁽³⁴⁾

2.6 TENSOACTIVOS.

Son moléculas que tienen una parte polar (cabeza hidrofílica) y otra no polar (cola hidrófoba). Para que una molécula sea tensoactiva su afinidad por la interfase es mayor que por cada una de las fases, al aumentar la concentración del tensoactivo en agua la tensión superficial disminuye debido a que las moléculas se adsorben en la superficie del agua. Al agregar más tensoactivo se alcanza el punto donde las moléculas están empaquetadas por completo en la superficie, la parte hidrofílica hacia el agua y la lipofílica hacia el aire, si se continua agregando tensoactivo, no caben más moléculas en la superficie y se agregan en micelas. La tensión superficial no disminuye más y permanece constante.⁽³⁴⁾⁽⁴⁶⁾

CLASIFICACIÓN.

Su clasificación se basa en el poder de disociación del tensoactivo en presencia de un electrólito y sus propiedades fisicoquímicas.

Los tensoactivos iónicos tienen fuerte afinidad por el agua y debido a su atracción electrostática hacia los dipolos del agua puede arrastrar consigo a las soluciones de cadenas de hidrocarburos. Dentro de los iónicos, según la carga que posea la parte que presenta la actividad de superficie serán aniónicos, catiónicos y anfóteros.

Los tensoactivos aniónicos en solución se ionizan pero considerando el grupo en solución, el grupo hidrófobo queda cargado negativamente.

Los tensoactivos catiónicos son aquellos que en solución forman iones, resultando cargado positivamente el grupo hidrófobo de la molécula, en general son moléculas cuaternarias de amonio o una amina grasa en medio ácido.

Los tensoactivos anfóteros actúan dependiendo del medio en que se encuentran, en medio ácido son catiónicos y en medio básico aniónicos.

Los tensoactivos no iónicos son aquellos que se solubilizan mediante un efecto combinado de cierto número de grupos solubilizantes débiles de carácter hidrófilico, tales como enlaces tipo éter o hidroxilo en la molécula.⁽⁴⁶⁾⁽⁵³⁾

2.7. ESPUMAS.

Este estado de dispersión se puede definir como una dispersión de burbujas de gas (generalmente aire) suspendidas en el seno de un líquido viscoso o de un semisólido, y se produce por una adsorción de moléculas reactivas en la interfase gas-líquido; el fluido que se localiza entre las burbujas de gas se designa con el nombre de lamela y sirve como base estructural. La mayor estabilidad de las espumas se obtiene cuando la lamela, o la distancia entre las dos burbujas es del orden de 0.2 a 1 μ ; cuando ésta es menor a 0.05 μ el sistema se vuelve muy inestable debido a que existe una difusión de gas a través de las paredes de las burbujas, lo que ocasiona su ruptura. Por esta razón la estabilidad y la densidad de las espumas dependen en gran medida de las características que presenta la lamela así como de presión de vapor y tensión superficial de la fase discontinua.⁽⁴⁾⁽¹⁸⁾

Las espumas más comunes en los alimentos se forman a disminuir la tensión superficial en la interfase gas-líquido por medio de agentes tensoactivos, proteínas o en algunos casos ciertos carbohidratos; las más conocidas son los merengues, las cremas, mantequillas batidas, los pasteles, el pan y la producida por la cerveza. La albúmina de huevo es una de las proteínas más empleadas en la fabricación de alimentos que requieren de espumas.⁽⁴⁾

La formación de espumas con proteínas implica un proceso de desnaturalización controlado, ya que este polímero se tiene que desdoblarse para que oriente sus aminoácidos hidrófobos hacia el interior de la burbuja y los hidrófilos hacia el exterior, en contacto con la fase acuosa. En algunos casos un calentamiento drástico de estos polipeptidos reduce su capacidad de espumado debido a una excesiva desnaturalización. No obstante, en el caso de la albúmina de huevo, un calentamiento gradual hasta alcanzar una temperatura elevada puede estabilizar la espuma ya que entonces la proteína coagula en forma de película, estableciéndose así una lamela más resistente, casi sólida. Esto se aplica en algunos alimentos como los soufflés, merengues, betunes o cubiertas para pastel.⁽⁴⁾

En el caso de panes y pasteles, las temperaturas altas también provocan la desnaturalización de las proteínas, con lo cual se producen muchas celdillas de burbujas de aire con una lamela sólida.

La estabilidad de las burbujas mejora si se aumenta la viscosidad de la fase continua con pequeñas cantidades de gomas y proteínas; también se emplea glicerol y sus derivados, así como varios

alcoholes y azúcares que imparten además un determinado sabor a estos productos. Por lo contrario, la destrucción de las espumas es más rápida si se reduce la viscosidad ya sea por métodos químicos o tratamientos térmicos.⁽⁴⁾

INESTABILIDAD DE LAS ESPUMAS.

Los fenómenos de inestabilidad de espumas son los siguientes:

- **Drenado de líquido:** Luego de la formación máxima de burbujas, ellas tienden a separarse debido a la diferencia de densidad con la fase continua. Estas burbujas se aglomeran unas sobre otras y en este proceso se forman películas entre burbujas. Estas películas son sometidas a esfuerzos de estiramiento. Durante los primeros instantes se produce una segregación gravitacional de las burbujas del hecho de que el empuje de Arquímedes es más fuerte sobre las burbujas grandes que sobre las pequeñas.
- **Succión capilar:** La proporción de líquido presente en la espuma disminuye rápidamente debido al drenaje del líquido hacia abajo, antes que nada por simple acción de la gravedad sobre el líquido que se encuentra en las burbujas, luego por fenómenos más complejos cuando las burbujas pierden su forma esférica. En éste momento el contenido de líquido no excede al 10% y continua disminuyendo ya que la diferencia de curvatura entre los bordes y la parte plana de las películas según la ley de Laplace producen un gradiente de presión. Esta es la fuerza motriz que desplaza el líquido del centro de las películas hacia los bordes de la espuma, gracias a un mecanismo llamado succión capilar. Este líquido es seguidamente drenado por la gravedad hacia la parte inferior de la espuma.
- **Repulsiones de carga:** A medida que la longitud de Debye es mayor, la distancia de repulsión aumenta; la presencia de electrolito, en particular polivalente, tiende a reducir la longitud de Debye y por tanto tiende a reducir la distancia a la cual la repulsión electrostática es suficiente para evitar el acercamiento de las superficies. En consecuencia, la presencia de un electrolito tiende eventualmente a acelerar el drenaje de la película en el interior de la burbuja. Existen otros tipos de repulsiones, en particular la repulsión estérica entre las cadenas poliéter de los surfactantes no iónicos o entre las partes hidrófilas de polímeros adsorbidos. Los dos tipos de repulsiones pueden producirse simultáneamente con polielectrolitos, los cuales también juegan un papel en el aumento de viscosidad en el líquido.⁽⁴⁾⁽¹⁸⁾⁽¹⁹⁾

2.8 EMULSIONES

Estos sistemas de dispersión están constituidos por dos líquidos inmiscibles en los que la fase dispersa se encuentra en forma de pequeñas gotas distribuidas en la fase continua; son inestables y si se les permite reposar por algún tiempo, las moléculas de la fase dispersa tienden a asociarse para constituir una capa que puede precipitar o migrar hacia la superficie, según la diferencia de densidades entre las dos fases.⁽⁴⁾⁽³⁴⁾

La mayoría de las emulsiones que se encuentran en los alimentos están compuestas por aceite y agua, pero pueden contener otros elementos que no necesariamente se encuentren

emulsionados, en los alimentos generalmente no se presentan emulsiones sencillas; se encuentran dispersiones complejas en las que la fase discontinúa no es un aceite líquido si no una mezcla de lípidos en estado líquido y cristalino, y la fase continua un sol o un líquido no newtoniano. El comportamiento de estos compuestos se acerca más a la viscoelasticidad que a los líquidos. ⁽⁴⁾⁽³⁴⁾

La estabilidad de las emulsiones está en función de su velocidad de separación de fases, los factores que más afectan dicha separación son el tamaño del glóbulo de grasa y la viscosidad de la fase dispersante, de acuerdo con la composición química de ambas fases, el tipo de emulsionante y el grado de estabilización, se puede obtener una gama muy amplia de comportamientos reológicos lo cual implica también la adición de diversos hidrocoloides y tensoactivos. ⁽⁴⁾⁽³⁴⁾

2.9 CALORIMETRÍA.

La calorimetría es la rama de la termodinámica que mide la cantidad de energía generada en procesos de intercambio de calor, definiéndose a este como la energía en movimiento entre dos cuerpos o sistemas que resulta de un ΔT entre el sistema y su medio que lo rodea. Por convención se considera que el calor es positivo cuando es absorbido por el sistema y negativo en caso contrario, el calor no es función de las variables termodinámicas si no que depende de la trayectoria. Las transformaciones físicas y químicas van asociadas a cambios térmicos de mayor o menor magnitud según sea el tipo de proceso experimentado por el sistema. ⁽¹²⁾⁽³⁹⁾

Cuando un sistema absorbe o cede calor puede ocurrir que experimente un cambio en su temperatura o bien un cambio de fase a temperatura constante.

La calorimetría consta de dos principios básicos:

- Cuando 2 o más cuerpos con temperaturas diferentes son puestos en contacto, ellos intercambian calor entre sí hasta alcanzar el equilibrio térmico. Luego, considerando un sistema térmicamente aislado, "La cantidad de calor recibida por unos es igual a la cantidad de calor cedida por los otros".
- "La cantidad de calor recibida por un sistema durante una transformación es igual a la cantidad de calor cedida por él en la transformación inversa". ⁽¹²⁾⁽⁵⁵⁾

CAPACIDAD CALORÍFICA DE UN SISTEMA.

Considérese una cantidad de calor muy pequeña dq que se suministra a un sistema, y que como resultado de la absorción de calor, el incremento de temperatura es dT . Entonces la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de sistema en 1 grado es: ⁽³²⁾

$$C = \frac{dq}{dT} \quad (1)$$

Y por tanto, C es la capacidad calorífica del sistema. Ahora bien, se sabe que $dq = dU + pdV$, donde: $dU \rightarrow$ diferencial de la energía interna y pdV es el término que define el producto de la presión por la diferencial de volumen, por tanto:

$$C = \frac{dU + pdV}{dT} \quad (2)$$

Cuando el volumen se mantiene constante $dV = 0$, y la ecuación anterior se reduce a los siguientes términos:

$$C_V = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_V \quad (3)$$

Esta ecuación define C_V y expresa que esta cantidad es la derivada de la energía interna con respecto a la temperatura a volumen constante. Sin embargo, cuando la absorción de calor ocurre reversiblemente a presión constante, entonces $p = P$ y la ecuación 2 se enuncia de la siguiente manera:

$$C_P = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_P + P \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P \quad (4)$$

Pero si se relaciona la ecuación 4 con la ecuación que define a la entalpía $H = U + PV$, se deriva con respecto a T a presión constante se tiene:

$$\left(\frac{\partial H}{\partial T} \right)_P = \left(\frac{\partial U}{\partial T} \right)_P + P \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P \quad (5)$$

Consecuentemente de la ecuación 5 se obtiene:

$$C_p = \left(\frac{\partial H}{\partial T} \right)_P \quad (6)$$

La expresión 6 nos indica la definición matemática de C_p . Es decir, C_p es la derivada de la entalpía con respecto a la temperatura a presión constante.⁽³²⁾

ENTALPÍA DE UN SISTEMA.

Los cambios térmicos a presión constante se expresan en forma más conveniente en términos de otra función llamada entalpía, la cual se define por la siguiente relación:

$$H = U + PV \quad (7)$$

Donde P y V son la presión y el volumen del sistema. Como U y PV se caracterizan por completo por el estado del sistema, H es también una función de éste y completamente independiente de la forma en que se llega al estado. En consecuencia el cambio de entalpía, ΔH , se puede expresar como:

$$\Delta H = H_2 - H_1 \quad (8)$$

Donde H_2 es la entalpía del sistema en su estado final, y H_1 su entalpía en el estado inicial. Sustituyendo H_2 y H_1 por sus equivalentes de la ecuación 7, se tiene para un ΔH :

$$\begin{aligned} \Delta H &= H_2 - H_1 \\ &= (U_2 + P_2V_2) - (U_1 + P_1V_1) \\ &= (U_2 - U_1) + (P_2V_2 - P_1V_1) \\ &= \Delta U + (P_2V_2 - P_1V_1) \quad (9) \end{aligned}$$

La ecuación 9 es la definición más general de ΔH . Cuando la presión permanece constante durante todo el proceso, se tiene que:

$$\Delta H = \Delta U + P\Delta V \quad (10)$$

Es decir, el cambio de entalpía a presión constante es igual a la suma del incremento de la energía interna más cualquier trabajo presión – volumen que se realice. De manera que a presión constante, ΔH representa el calor absorbido por un sistema al pasar de un estado inicial a un estado final, siempre que el único trabajo realizado sea PV.⁽³²⁾

2.10 CALORIMETRÍA DIFERENCIAL DE BARRIDO (DSC).

Esta técnica permite la caracterización termodinámica de los cambios conformacionales inducidos por cambios de temperatura en proteínas, ácidos nucleicos y biomembranas o membranas artificiales. La calorimetría diferencial de barrido se usa para obtener los parámetros termodinámicos asociados a las transiciones de macromoléculas inducidas por calor.⁽³⁷⁾

En un experimento de calorimetría diferencial de barrido se registra de forma continua la capacidad calorífica aparente o el cambio entálpico de una disolución de proteína o de cualquier macromolécula en función de la temperatura, obteniéndose lo que comúnmente se denomina termograma.

La información fundamental que proporciona la DSC es la capacidad calorífica relativa de un sistema en función de la temperatura. En general, hay tres tipos de información que se pueden obtener a partir de la DSC:⁽⁶⁾

1. La capacidad calorífica parcial absoluta del compuesto de interés.
2. Los parámetros termodinámicos globales (los cambios de entalpía [ΔH], de entropía [ΔS], de energía de Gibbs [ΔG] y de la capacidad calorífica [ΔC_p]) asociados a la transición inducida por temperatura.
3. La función de la partición y concomitantemente la población de los estados relevantes del sistema y sus parámetros termodinámicos.

Los datos que se pueden obtener a partir de termogramas DSC son los siguientes:

- **T_m**: Temperatura media del cambio de fase: corresponde a la temperatura en la que se alcanza el valor máximo de Cp. (cantidad de calor requerido para elevar la temperatura de la muestra 1º).
- **ΔH**: Entalpía de transición: es la cantidad de energía absorbida para que tenga lugar el cambio de fase. El valor de la entalpía calorimétrica para la transición de fase se determina integrando el área bajo el pico de la transición.

$$\Delta H_{cal} = \int_{T_i}^{T_f} C_p dT \quad (11)$$

- **ΔS**: Entropía en el cambio de fase a partir de la entalpía y la T_m se obtiene el valor de ΔS.

$$\Delta S = \frac{\Delta H_{cal}}{T_m} \quad (12)$$

- **ΔH_{vh}** = La entalpía de Van't Hoff es igual a la cantidad de calor necesario para que cada unidad cooperativa lleve a cabo la transición de fases. Da una idea del grado de cooperatividad de la transición de fases. Si $\Delta H_{cal} = \Delta H_{vh}$ es una transición de primer orden entre el estado inicial y final, Si $\Delta H_{cal} > \Delta H_{vh}$ es una transición que implica más de dos estados.
- **PWMH** (pick wide at the middle height), la anchura del pico a mitad de altura nos da idea del grado de cooperatividad de la transición de fase.
- **Unidad cooperativa**: $C.U. = \Delta H_{vh} / \Delta H_{cal}$ Cuanto mayor es el valor de CU mas cooperativa es la transición de fases.⁽⁶⁾

En la calorimetría de barrido diferencial la muestra y la referencia se someten a una temperatura que aumenta en forma continua. Se agrega calor sobre la muestra o la referencia, a modo de mantenerlas a una temperatura idéntica. El calor agregado que se registra, compensa el que se pierde o se gana como consecuencia de reacciones endotérmicas o exotérmicas que tienen lugar en la muestra.

APLICACIONES DE LA CALORIMETRÍA.

- Estudios de mezcla, separación de fases y fusión lipídica.
- Efecto de distintas sustancias en la transición lipídica.
- Estabilidad de compuestos.
- Plegamiento y desplegamiento térmico de proteínas.

CINÉTICA DE LA DESNATURALIZACIÓN DE PROTEÍNAS.

Los mecanismos de desnaturalización de proteínas se dan por tratamientos térmicos, por diferentes compuestos orgánicos o por la acción de pH, en primer término se rompen puentes de hidrogeno intermoleculares y posteriormente los enlaces covalentes presentes en la proteína. ⁽⁴⁾

De manera resumida, el fenómeno de desnaturalización de proteínas se puede considerar por un mecanismo reversible expresado por la siguiente ecuación:

$$K = \frac{N}{D} = \frac{K_1}{K_2} \quad (13)$$

Donde:

K → Constante de equilibrio del estado nativo al desnaturalizado.

N → Estado nativo de las proteínas.

D → Estado desnaturalizado de las proteínas.

K₁ → Constante de equilibrio del estado nativo.

K₂ → Constante de equilibrio del estado desnaturalizado

Al producto de las actividades de los componentes de la reacción en el estado de equilibrio, elevadas a los respectivos coeficientes estequiométricos se le denomina constante de equilibrio, se representa por K. La constante de equilibrio es una cantidad adimensional, deriva del hecho de que, para una presión y temperatura determinada, K es independiente de la composición del sistema reactivo. ⁽³⁹⁾

De la ecuación $G = H - TS$ particularizando para reactivos y productos obtenemos $\Delta G = \Delta H - T\Delta S$, que para un estado estándar conduce a $\Delta G^\circ = \Delta H^\circ - T\Delta S^\circ$, esta última expresión se puede reescribir en la forma $(\Delta G^\circ/T) = (\Delta H^\circ/T) - \Delta S^\circ$. Si ahora se deriva respecto a la temperatura considerando la presión constante, obtenemos:

$$\begin{aligned} \left(\frac{\partial(\Delta G^\circ/T)}{\partial T}\right)_P &= \left(\frac{\partial(\Delta H^\circ/T)}{\partial T}\right)_P - \left(\frac{\partial\Delta S^\circ}{\partial T}\right)_P \rightarrow \\ \left(\frac{\partial(\Delta G^\circ/T)}{\partial T}\right)_P &= -\frac{\Delta H^\circ}{T^2} + \frac{1}{T}\left(\frac{\partial\Delta H^\circ}{\partial T}\right)_P - \left(\frac{\partial\Delta S^\circ}{\partial T}\right)_P \end{aligned} \quad (14)$$

De $dH = TdS + VdP$ se obtiene a presión constante:

$$\left(\frac{dH}{dT}\right)_P = T\left(\frac{dS}{dT}\right)_P + 0\left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_P + T\left(\frac{\partial S}{\partial T}\right)_P \rightarrow$$

$$\left(\frac{\partial(\Delta G^\circ/T)}{\partial T}\right)_P = -\frac{\Delta H^\circ}{T^2} \quad (15)$$

Que sustituyendo en la ecuación 15 en 16:

$$\ln k = -\frac{1}{R} \frac{\Delta G^\circ}{T} \rightarrow \left(\frac{\partial \ln K}{\partial T}\right)_P = -\frac{1}{R} \left(\frac{\partial(\Delta G^\circ/T)}{\partial T}\right)_P \quad (16)$$

Se obtiene:

$$\left(\frac{\partial \ln K}{\partial T}\right)_P = \frac{\Delta H^\circ}{RT^2} \quad (17)$$

En la ecuación 17, ΔH° es el incremento de la entalpía de la reacción cuando todas las especies químicas se encuentran en sus respectivos estados de referencia y dicha ecuación se conoce como ecuación de Van't Hoff. ⁽³⁹⁾

2.11 ENERGÍA DE ACTIVACIÓN.

La velocidad de casi todas las reacciones químicas aumenta con la temperatura. Muchas reacciones químicas de importancia industrial se llevan a cabo a temperaturas superiores a la ambiental, ya que en esas condiciones, la velocidad de la reacción permite que su explotación sea viable desde el punto de vista económico. Por el contrario, una forma de preservar los alimentos consiste en almacenarlos a baja temperatura para que, de esa forma, la velocidad de descomposición bacteriana disminuya. Para que exista una reacción química es necesario que las moléculas de los reactivos colisionen entre sí. Para que la colisión sea efectiva es necesario que las moléculas choquen con la orientación adecuada y con la energía suficiente.

Por otra parte, una reacción química es consecuencia de la reorganización de los átomos de los reactivos para dar lugar a los productos. Este proceso no se lleva a cabo directamente, sino a través de una asociación transitoria de las moléculas o estado intermedio denominado complejo activado. A la energía necesaria para que los reactivos formen el complejo activado se le llama energía de activación, E_a , y representa la barrera de energía que han de salvar las moléculas para que tenga lugar la reacción. En los choques moleculares, parte de la energía cinética puede convertirse en energía potencial. Para que un choque entre las moléculas sea efectivo, es necesario que la energía cinética de las moléculas sea superior a la energía de activación. ⁽¹⁴⁾⁽²⁸⁾

MÉTODO DE KISSINGER.

El método de Kissinger se basa en la determinación de la variación de la temperatura del pico de desnaturalización T_M , en función de la velocidad de calentamiento, β . Se obtiene la energía de activación, E , a partir de la representación gráfica de $\ln\left(\frac{\beta}{T_p^2}\right)$ en función de $\frac{1}{T_p}$. ⁽¹⁶⁾

El análisis de los cambios de masa producidos como consecuencia de variaciones en la velocidad de calentamiento es la base para el estudio de este método y la determinación de parámetros cinéticos que utiliza el punto de inflexión del termograma para la determinación de la energía de activación. Este método puede utilizarse sin ser necesario conocer el orden de reacción. Kissinger diferenció la ecuación general de velocidad y obtuvo:

$$\frac{d^2 \alpha}{dt^2} = \frac{E\beta}{RT^2} \frac{d\alpha}{dt} + Ae^{-\frac{E}{RT}} f(\alpha) = \left[\frac{E\beta}{RT^2} + Ae^{-\frac{E}{RT}} f(\alpha) \right] \frac{d\alpha}{dt} \quad (18)$$

Donde:

$\frac{d^2 \alpha}{dt^2}$ → Expresa la segunda derivada en función del tiempo de la fracción desnaturalizada.

$\frac{E\beta}{RT^2} \frac{d\alpha}{dt}$ → Primera derivada de la fracción desnaturalizada en función del tiempo por el cociente del producto de la energía de activación por la velocidad de calentamiento y el producto de la constante universal de los gases por la temperatura al cuadrado.

$Ae^{-\frac{E}{RT}} f(\alpha)$ → Consideración de Arhenius en función de la fracción desnaturalizada.

Particularizando la ecuación 18 en la máxima degradación donde $\frac{d^2 \alpha}{dt^2} = 0$ y tomando logaritmos, la ecuación adopta la forma:

$$\ln \frac{\beta}{T_m^2} = -\frac{E}{RT_m} + \ln \left[f(\alpha_m) \frac{AR}{E} \right] \quad (19)$$

El punto de inflexión hace que se anule la segunda derivada y a la temperatura de degradación máxima se obtiene:

$$\ln \frac{\beta}{T_m^2} = \ln \left[\frac{AR}{E} n(1 - \alpha)^{n-1} \right] - \frac{E}{RT_m} \quad (20)$$

De esta forma una representación de $\ln \frac{\beta}{T_m^2}$ frente a $1000/T_m$ conduce al valor de E determinan la influencia de la cinética de reacción y el error en el cálculo de la energía de activación utilizando este método. ^{(14) (16) (22)}

2.12 PRINCIPIOS Y TEORÍA DE LA TEXTUROMETRÍA.

De modo general la textura de un alimento puede ser definida como el conjunto de atributos que, de un modo subjetivo, son apreciados por el sentido del tacto, la vista y el oído, y hacen referencia a la impresión percibida de su peculiaridad física, en cuanto resultado de una deformación sufrida por el alimento. En cierta forma viene a ser una manifestación del modo como son estimulados los receptores mecánicos de la boca durante la degustación del producto alimenticio. ⁽¹⁰⁾⁽²⁷⁾

En realidad, se trata de un concepto bastante ambiguo, que ha sido definido de muy diversas maneras, debido a la participación de varios sentidos aplicados en amplitudes diferentes, siempre se manifiesta como una consecuencia externa de un cambio en la disposición en los elementos estructurales, o de los diversos componentes químicos, así como de sus combinaciones. Por ello no debe hablarse de la textura de los alimentos como un factor único que le caracteriza, sino como un elenco de atributos que aportan al alimento sus propiedades o características de textura.

La percepción de la textura depende de la actividad de sistemas sensoriales diferentes, aunque las sensaciones más importantes procedan de la actividad muscular, tacto y presión. ⁽²⁷⁾⁽⁴⁰⁾

Las impresiones aportadas por las características geométricas o las procedentes de la naturaleza líquida del alimento viene dada de modo primario por las sensaciones del tacto. En cambio para percibir las impresiones derivadas de las características mecánicas del alimento se requiere la contribución de los movimientos de la boca y mandíbulas, dependiendo de la magnitud de la fuerza o presión requerida para fracturar el alimento o simplemente modificar su forma.

Teniendo en cuenta las características aportadas por los parámetros fisicoquímicos que definen la textura de un alimento, se puede establecer 8 grupos de alimentos:

Líquidos: Presentan una viscosidad relativamente elevada

Geles: Plásticos en general aunque también pueden ser elásticos como los formados por pectinas.

Fibrosos: Presencia de fibras que pueden ser de celulosa o algunas proteínas.

Agregados: Constituidos por células turgentes que resultan jugosas a la masticación.

Untuosos: Suaves al tacto como las margarinas y mantequilla.

Friables: Desmenuzable, seco, granuloso o cristalino.

Vítreos: Estructura no cristalina que se disuelven lentamente en la boca.

Eponjosos: Semielásticos y plásticos como la miga de pan.

A medida que se ha profundizado el conocimiento de las características de los alimentos se han ido modificando los conceptos de textura, desde un punto de vista de análisis de calidad hasta para determinar las propiedades sensoriales del mismo. Todas ellas vinculadas al modo de reaccionar un alimento frente a fuerzas que pueden ser medidas con los texturómetros: tracción,

torsión, etc. Sus magnitudes vienen trazadas por las presiones ejercidas sobre dientes, lengua y paladar durante el proceso de la masticación.⁽⁵⁾

Del análisis de textura se determinan diferentes atributos sensoriales los cuales se mencionan a continuación:

Dureza: Su definición física viene dada como la fuerza necesaria para una deformación dada y sensorialmente como la fuerza requerida para comprimir una sustancia entre las muelas o entre la lengua y el paladar.

Cohesividad: Físicamente es que tanto puede deformarse un material antes de romperse y sensorialmente es el grado hasta el que se comprime una sustancia entre dientes antes de romperse.

Viscosidad: En definición física es la tasa de flujo por unidad de fuerza, de manera sensorial es la fuerza requerida para pasar un líquido de una cuchara hacia la lengua.

Elasticidad: Físicamente es la tasa a la cual un material deformado regresa a su condición inicial después de retirar la fuerza deformante y sensorialmente es el grado hasta el cual regresa un producto hasta su forma original una vez que se ha comprimido entre los dientes.⁽⁴⁰⁾⁽⁴⁵⁾

Adhesividad: En definición física se considera como el trabajo necesario para vencer las fuerzas de atracción entre la superficie del alimento y la superficie de los otros materiales con los que el alimento entra en contacto. Sensorialmente es la fuerza requerida para retirar el material que se adhiere a la boca durante su consumo.

Densidad: Hace referencia a la distribución de células en el aire, un alimento de baja densidad significa que tiene células las cuales son débiles y sueltas lo que ocasiona que se disuelva fácilmente. Los alimentos con alta densidad son firmes y compactos.⁽¹⁰⁾⁽²⁷⁾⁽⁴⁰⁾

- **Fragilidad:** Físicamente es la fuerza con la cual se fractura un material generalmente este tiene un alto grado de dureza y baja cohesividad. Sensorialmente es la fuerza con la que un material se desmorona, cruje o se estrella.
- **Masticabilidad:** Físicamente es la energía requerida para masticar un alimento hasta que esté listo para ser deglutido. Sensorialmente se define como el tiempo requerido para masticar la muestra, a una tasa constante de aplicación, para reducirla a una consistencia adecuada para tragarla.
- **Gomosidad:** En definición física es la energía requerida para desintegrar un alimento semisólido a un estado listo para deglutirlo. Sensorialmente es la densidad que persiste a lo largo de la masticación, energía requerida para desintegrar un alimento semisólido a un estado adecuado para tragarlo.⁽²⁷⁾

Los atributos mencionados se utilizan para reportar los resultados de las evaluaciones de textura tanto instrumentales como sensoriales y para tener una idea más clara de lo que cada atributo describe.

La definición física tiene que ver con el tipo de prueba que se implemente a nivel instrumental, mientras que la definición sensorial esta descrita tal como debe entenderla un juez al momento de evaluar el atributo del alimento.⁽²⁷⁾

CAPÍTULO III. OBJETIVO GENERAL Y PARTICULARES.

3.1. OBJETIVO GENERAL:

Determinar la influencia en la adición de una proteína, un polisacárido o un tensoactivo con las proteínas del gluten de trigo mediante análisis calorimétrico DSC, TGA y de textura para analizar la influencia de la interacción proteína- proteína en el cambio conformacional de la estructura de la proteína de trigo en el proceso de panificación.

3.2. OBJETIVO PARTICULAR 1:

Caracterizar la interacción de grenetina con las proteínas de trigo mediante análisis calorimétrico DSC, TGA y de textura para analizar la influencia de la interacción proteína- proteína en el cambio conformacional de la estructura de la proteína de trigo en el proceso de panificación.

VARIABLES:

Parámetros de control: [Harina], pH

Variables Independientes: [Grenetina]

Variables Dependientes: % Humedad, Temperatura de desnaturalización del sistema proteína-proteína.

Variables de Respuesta: Parámetros termodinámicos de transferencia de calor para el análisis de la interacción de los componentes, Parámetros texturales (Dureza y Fracturabilidad).

NIVELES DE VARIACION

[Grenetina] = 0.3, 0.5 y 0.7%

3.3. OBJETIVO PARTICULAR 2:

Caracterizar la interacción de la goma de mezquite con las proteínas de trigo mediante análisis calorimétrico DSC, TGA y de textura para analizar la influencia de la interacción proteína – polisacárido en el cambio conformacional de la estructura de la proteína de trigo en el proceso de panificación.

VARIABLES:

Parámetros de control: [Harina], pH.

Variables Independientes: [Goma de mezquite]

Variables Dependientes: % Humedad, Temperatura de desnaturalización del sistema proteína-polisacárido.

Variables de Respuesta: Parámetros termodinámicos de transferencia de calor para el análisis de la interacción de los componentes, Parámetros texturales (Dureza y Fracturabilidad).

NIVELES DE VARIACIÓN

[Goma de mezquite]= 0.3, 0.5 y 0.7%

3.4. OBJETIVO PARTICULAR 3.

Caracterizar la interacción de lecitina de soya con las proteínas de trigo mediante análisis calorimétrico DSC, TGA y de textura para analizar la influencia de la interacción proteína – tensoactivo en el cambio conformacional de la proteína de trigo en el proceso de panificación.

VARIABLES:

Parámetros de control: [Harina], pH.

Variables Independientes: [Lecitina]

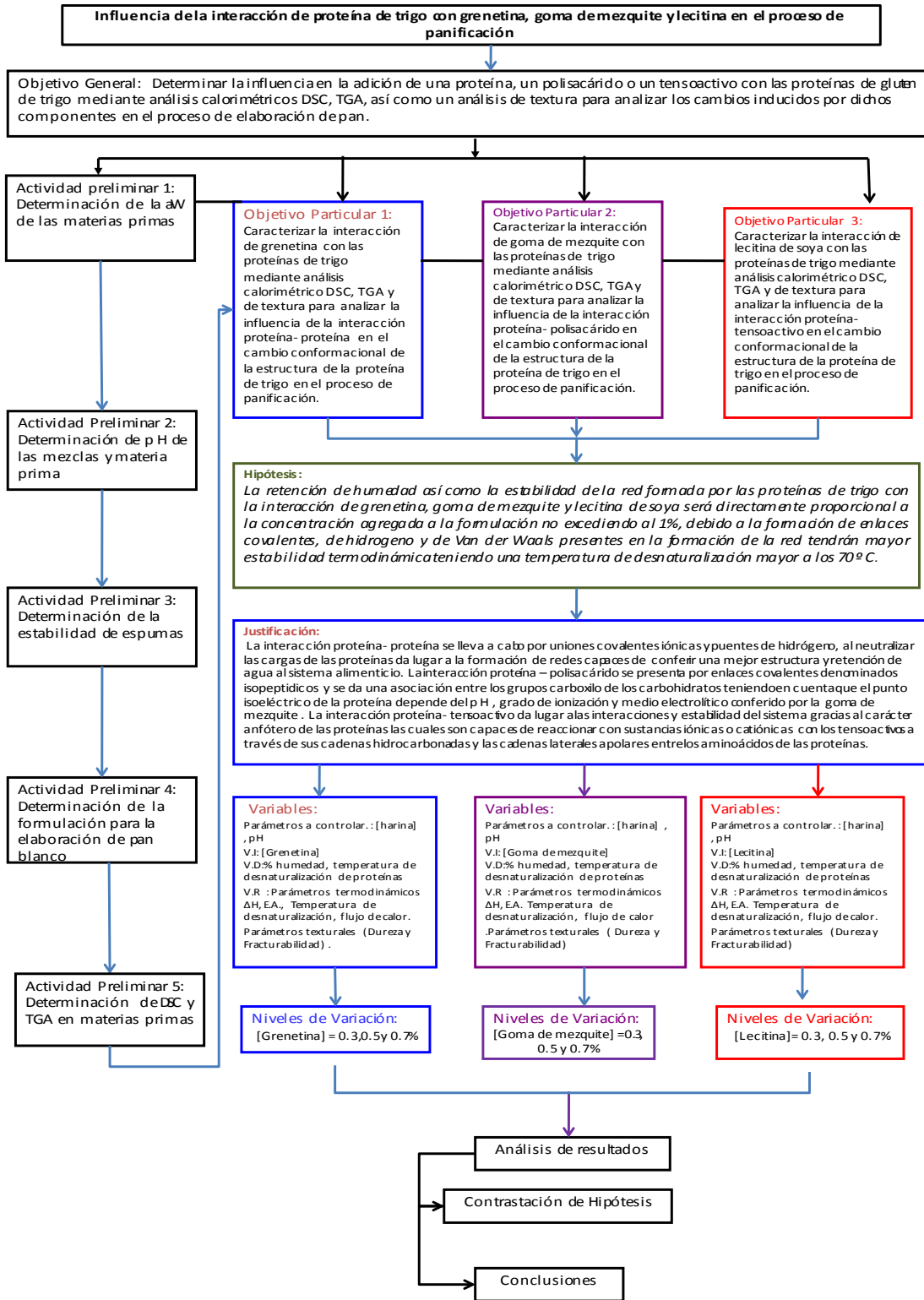
Variables Dependientes: % Humedad, Temperatura de desnaturalización del sistema proteína-tensoactivo.

Variables de Respuesta: Parámetros termodinámicos de transferencia de calor para el análisis de la interacción de los componentes, Parámetros texturales (Dureza y Fracturabilidad).

NIVELES DE VARIACIÓN

[Lecitina]= 0.3, 0.5 y 0.7%

CUADRO METODOLÓGICO



CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.

4.1 DESARROLLO EXPERIMENTAL.

La propuesta experimental se esquematiza en el cuadro metodológico, expuesto en la página 42, el cual parte de un objetivo general el cual se desglosa en 3 objetivos particulares que caracterizan las interacciones de proteínas, polisacárido y tensoactivo con las proteínas del gluten y nos darán la solución al problema planteado, de la misma manera se plantean diversas actividades preliminares en las cuales se realizan pruebas básicas y de control de la experimentación, primeramente se propone conocer el estado de desnaturalización nativa de las proteínas de la harina de trigo mediante calorimetría DSC para tener un parámetro inicial de la temperatura de transición de dichas proteínas, posteriormente se determinara la humedad inicial de la harina de trigo y corroborar lo que la norma (CODEX STAN 152-1985) establece que se encuentre no mayor a un 15% y realizar la misma determinación de humedad en el pan para verificar la humedad retenida en el producto con las diferentes modificaciones en la formulación, así mismo se propone la determinación de la estabilidad de espumas obtenidas a partir de la clara de huevo (albumina), como parámetro de control se determinara el pH tanto de la espuma obtenida por la mezcla de ingredientes en el proceso de panificación.

Conforme a los objetivos planteados se propuso el siguiente plan de investigación comenzando por la realización de actividades preliminares para posteriormente realizar los estudios calorimétricos DSC, TGA y de textura correspondientes.

4.2. ACTIVIDADES PRELIMINARES.

4.2.1. Determinación de la actividad de agua (a W) de la materia prima.

Para el control de humedad de la formulación de pan resultado de gran relevancia conocer la actividad de agua de la materia prima en el producto panificable la cual se cuantifico mediante métodos tradicionales como lo es el higrómetro digital marca Aqualab 3TE, que se indica en la figura 6, cuyo empleo resulta muy simple, el alimento se coloca en una cámara cerrada y la determinación se hace en el espacio de cabeza identificando el punto de rocío del alimento analizado.⁽⁴⁾

Proceso experimental:

La actividad de agua se evaluó mediante un higrómetro electrónico digital marca AQUALAB 3TE, cuyo fundamento es emplear la tecnología del sensor de punto de rocío, determinando la actividad de agua en los componentes de la formulación del pan de la que se obtuvo de manera inductiva la humedad relativa de la mezcla que fue de 56.658% de acuerdo al anexo 1, pág. VI. Tabla 28.⁽⁴⁾

Los resultados obtenidos referentes a la actividad de agua de la materia prima se muestran en el anexo No. 1, pág. I. Tabla 24. Correspondiente a los resultados de las actividades preliminares propuestas.

Equipo: Aqualab. 3 TE (Instrumento con punto de rocío avanzado)

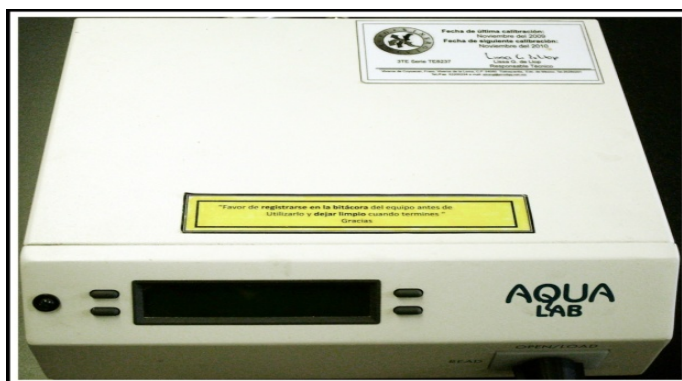


Figura 6. Imagen del higrómetro modelo Aqualab. 3 TE.

4.2.2. Determinación del pH de la materia prima y formulaciones establecidas.

El principio básico de la medida electrométrica del pH se fundamenta en el registro potenciométrico de la actividad de los iones hidrógeno por el uso de un electrodo de vidrio y un electrodo de referencia, o un electrodo combinado, dicho parámetro se determinó con un potenciómetro marca Conductronic pH 10 que se muestra en la figura 7. ⁽⁴³⁾

Este parámetro fungió como punto crítico de control en el proceso de elaboración de pan ya que se sabe que las proteínas por sus propiedades anfóteras tienen una influencia determinante por el pH e interactúan de manera diferente a diversos parámetros de pH en el sistema. Las mediciones de pH varían con la temperatura en dos formas: por efectos mecánicos causados por cambios en las propiedades de los electrodos y por efectos químicos producidos por alteración de las constantes de equilibrio por lo que en las mezclas a las que se les determinó dicho parámetro se expresó la temperatura de la toma.

El valor de pH se tomó por triplicado tanto en la materia prima como en las mezclas para estandarizar el valor del mismo en el proceso, los resultados se expresan en el anexo No.1. pág. I y II. Tabla 25 y 26.

Equipo: Conductronic pH 10.



Figura 7. Imagen del potenciómetro modelo Conductronic pH 10.

4.2.3. Determinación de la estabilidad de espumas.

La capacidad y estabilidad de espuma se determinó, aplicando el método modificado de Coffman, el cual consiste en determinar estabilidad de la espuma mediante la determinación del volumen del líquido drenado en función del tiempo. ⁽⁵²⁾

La formación de espumas con clara de huevo es importante en muchos alimentos contribuyendo a la acción fermentadora además de ayudar a la obtención de productos de textura ligera. Esta espuma es una suspensión coloidal formada por burbujas de aire rodeadas por albumen sujeto a algún tipo de desnaturalización y las interfaces liquido-aire. Esta desnaturalización causada por la deshidratación y estiramiento del albumen durante el batido insolubiliza algunas de las globulinas endureciendo y estabilizando la espuma. El tiempo requerido para la formación de espumas, el volumen y la estabilidad están afectados por muchos factores incluyendo el método de batido, Temperatura y pH. Desarrollo Experimental: Cálculo del tiempo de batido.

Tabla 10. Materiales para el desarrollo de espumas.

Materiales para el desarrollo de espumas.	
Equipo	Probeta graduada de 10 ml, Termómetro, Embudo, Batidora, Vaso de Precipitado
Material	Huevo, Papel filtro

Desarrollando el procedimiento del desarrollo experimental de la estabilidad de espumas, señalada en la tablas 10 y 11, se obtuvo la estabilidad de espuma en función de la determinación del líquido drenado en los tiempos establecidos de batido, los resultados se enuncian en el anexo No. 1. pág. II, III y IV. Gráficas. 41,42,43 y 44; se seleccionó el tiempo de 6 minutos de batido acorde a que obtuvo menor inestabilidad en el sistema y las características físicas de mayor aceptación, indicando que dichos resultados se encuentran expresados en el anexo No.1 . pág.III. Gráfica 42, Tabla 27.

Tabla 11. Procedimiento del desarrollo experimental de la estabilidad de espumas.

TAMAÑO DE MUESTRA : 25 gramos a 20°C	
MUESTRA	
1	Batir durante 3 min a la máxima velocidad (200 vatios) y trasladar a un embudo para realizar prueba de goteo
2	Batir durante 6 min a la máxima velocidad (200 vatios) y trasladar a un embudo para realizar prueba de goteo
3	Batir durante 9 min a la máxima velocidad (200 vatios) y trasladar a un embudo para realizar prueba de goteo

4.2.4. Determinación de la formulación de pan.

Para la elaboración de pan se debe tener estandarizados los porcentajes de los ingredientes que se utilizan, para ello mediante el peso de cada ingrediente partiendo de la receta original se establecieron los porcentajes en los cuales se encuentra cada materia prima, expresado en el anexo No. 1. pág. tabla 28. De la misma forma que la cantidad de ingredientes presentes, influye el tiempo de obtención de pan el cual se estandarizó con la primera elaboración de pan blanco.

Después del establecimiento de la formulación y de las condiciones apropiadas para la realización del pan se prosiguió a realizar la elaboración de pan sin la adición de ningún componente para observar de manera posterior como benefició o perjudicó la adición de proteínas, polisacáridos o tensoactivos al sistema.

Se elaboró el pan acorde a la formulación y tiempos de proceso, expresados en el anexo No. 1. pág. V. Tabla 29, y una vez obtenida las muestras se tomó una como patrón para determinar la pérdida de peso en un periodo de 6 días.

4.2.5. Determinación del estado nativo de desnaturalización de las proteínas de yema de huevo y trigo.

Esta actividad tuvo la finalidad de conocer el estado nativo de desnaturalización del gluten formado por la interacción de las proteínas compuestas por la harina de trigo en solución acuosa mediante calorimetría DSC. ⁽²²⁾

La primera determinación para la estandarización del método a utilizar se realizó en un intervalo de temperatura de 20°C a 130°C en charola abierta, posteriormente se realizó el evento en charola cerrada para determinar el cambio del presente comportamiento en ausencia de oxígeno en el mismo intervalo de temperaturas. Los resultados de calorimetría diferencial de barrido, termogravimetría, energía de activación del gluten en estado nativo, se expresan en el anexo No.1 pág. VIII, IX, X y XI. Gráficas.47, 48,49 y 50. Así mismo los resultados para el estado nativo de la yema de huevo se expresan en el anexo No.1. pág. XII y XIII. Gráficas. 51 y 52.

4.3. MATERIALES Y MÉTODOS.

4.3.1. MATERIA PRIMA.

Para estandarizar el proceso de elaboración de pan se utilizó la siguiente materia prima a porcentajes establecidas en la formulación (anexo No. 1. pág. V. Tabla 26.) para la elaboración de este.

- Harina de trigo marca 3 estrellas.
- Mantequilla marca Iberia.
- Huevo marca Agra.
- Leche condensada marca Nestlé.

Para analizar los cambios térmicos ocurridos en la desnaturalización del estado nativo de la proteína de gluten de trigo y las mezclas correspondientes a las interacciones entre el gluten, gretina, goma de mezquite y lecitina de soya se realizó análisis de calorimetría DSC complementado con el análisis TGA con la que se obtuvo un análisis térmico complementario.

4.3.2. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE CALORIMETRÍA DSC.

Proceso experimental.

La calorimetría diferencial de barrido (DSC) es la técnica de análisis térmico más utilizada, es una técnica rápida y fácil para obtener información de un material, mide los cambios de energía que ocurren conforme el material es calentado, enfriado o mantenido en una temperatura fija al mismo tiempo en el que se registra la temperatura a la que ocurren estos cambios. ⁽⁶⁾⁽²²⁾

El equipo que se utilizó para la evaluación calorimétrica DSC fue el modelo TA- INSTRUMENT DSC, que se muestra en la figura 8.

En cualquier procedimiento experimental por calorimetría DSC se deben llevar a cabo los siguientes puntos:

1. Preparación de muestra esto es seleccionar la cantidad tanto en tamaño y peso apropiado de muestra a analizar (6-10mg).
2. Selección del tipo de material de la charola y encapsulación de la muestra.
3. Establecer las condiciones experimentales a través del controlador del calorímetro (20°C-120°C) rampa de calentamiento (1°C/ min).
4. Selección del método térmico del controlador.
5. Colocar los accesorios externos lo cual implica la purga de gas y la línea de nitrógeno.

Equipo: TA – INSTRUMENT DSC.



Figura 8. Calorímetro DSC. Modelo: TA- Instruments DSC.

4.3.3. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE TERMOGRAVIMETRÍA TGA.

La termogravimetría está basada en la medida de la variación de la masa de una muestra cuando se la somete a un cambio de temperatura en una atmósfera controlada. Esta variación puede ser una pérdida o una ganancia de masa. El registro de estos cambios nos dio información sobre si la muestra se descompone o reacciona con otros componentes. La termogravimetría puede utilizarse conjuntamente con otras técnicas, ya que permiten obtener información complementaria sobre el comportamiento térmico de una muestra, en el desarrollo experimental se utilizó el modelo TA-INSTRUMENTS- TGA, cuya imagen se muestra en la figura 9. ⁽¹⁴⁾⁽⁵⁵⁾

Los pasos para el análisis TGA es el siguiente:

1. Preparación de la muestra esta se pesa directamente desde la balanza de punto nulo del equipo, esto asegura que la muestra permanezca en el mismo punto del horno independientemente del cambio de masa de la muestra. No es conveniente trabajar con grandes cantidades de masa ya que la temperatura de esta no resulta homogénea.
2. Programar el software del equipo a las condiciones del proceso (25°C- 130°C)(1°C/min), las termobalanzas permiten realizar medidas a diferentes presiones atmosféricas desde el vacío, hasta altas presiones, proporcionando esto la facilidad de trabajar a flujo dinámico lo que le confiere al sistema reducir la condensación de los productos de reacción en las partes más frías del mecanismo de pesada y minimizar las reacciones secundarias.
3. Comenzar la corrida experimental. Esta arrojará como resultado una curva que expresa el comportamiento de la masa a la aplicación de calor y conocer la estabilidad térmica de la muestra que se analizó. ⁽¹⁴⁾⁽⁵⁵⁾

Equipo: TA – INSTRUMENTS TGA.



Figura 9. Calorímetro TGA. Modelo: TA- Instruments TGA.

4.3.4. ANÁLISIS DE PERFIL DE TEXTURA TPA.

Se prepararon muestras de pan de las diferentes interacciones propuestas en el desarrollo experimental con un largo de 7cm, ancho de 6 cm y un espesor de 3.5 cm, en las cuales se determinaron dos parámetros texturales en el sistemas los cuales fueron la dureza y la fracturabilidad del pan con lo cual se realizó el estudio comparativo en cuanto a propiedades texturales que le confiere la grenetina, goma de mezquite y lecitina de soya en la elaboración del pan, el equipo que se utilizó en la determinación de dichas propiedades fue el texturometro modelo: TA-XT Plus, que se ilustra en la figura 10.

Es una prueba que mide fuerza en compresión, se le indica al instrumento que la punta, dispositivo o sensor comprima al alimento cierta distancia (dada en mm o % con respecto a la altura de la muestra) a una velocidad dada. La prueba se inicia cuando la punta o sensor detecta la superficie de la muestra y este será el punto de referencia. En esta operación, la punta viaja hacia abajo hasta llegar a la distancia indicada la punta sube y se retira de la muestra, regresa a la posición de inicio de prueba (distancia de referencia) en esta posición se espera el tiempo indicado para efectuarse el segundo ciclo de compresión, bajando nuevamente a la distancia indicada y se regresa a la posición original antes de iniciar la prueba.

Durante todo el proceso la punta detecta la fuerza y se obtiene la curva fuerza-tiempo. En el ciclo de compresión se mide la dureza y en la retirada de la punta las propiedades adhesivas. Las fuerzas positivas indican la resistencia que ofrece la muestra a la penetración o compresión por parte de la punta en el proceso de descenso, las fuerzas negativas indican la fuerza debido a la muestra que se adhiere al retirarse el sensor.⁽²⁷⁾⁽⁴⁰⁾

Proceso experimental:

1. Preparar la muestra de pan con una geometría especificada.
2. Programar el software del equipo indicando la fuerza aplicada, la velocidad de compresión y el tiempo de espera para el segundo ciclo.
3. Colocar la muestra en el soporte del texturometro.
4. Ejecutar la prueba, los datos se representan mediante una curva que registra la fuerza aplicada contra el tiempo, en el primer ciclo se registran los parámetros que fueron objeto de estudio en la experimentación para observar los cambios texturales del pan con la interacción de los componentes presentes en el sistema alimenticio.⁽²⁷⁾⁽⁴⁰⁾

Equipo: Texturometro Modelo: TA-XT PLUS.



Figura 10. Texturometro modelo: TA-XT Plus.

CAPITULO V ANÁLISIS DE RESULTADOS.

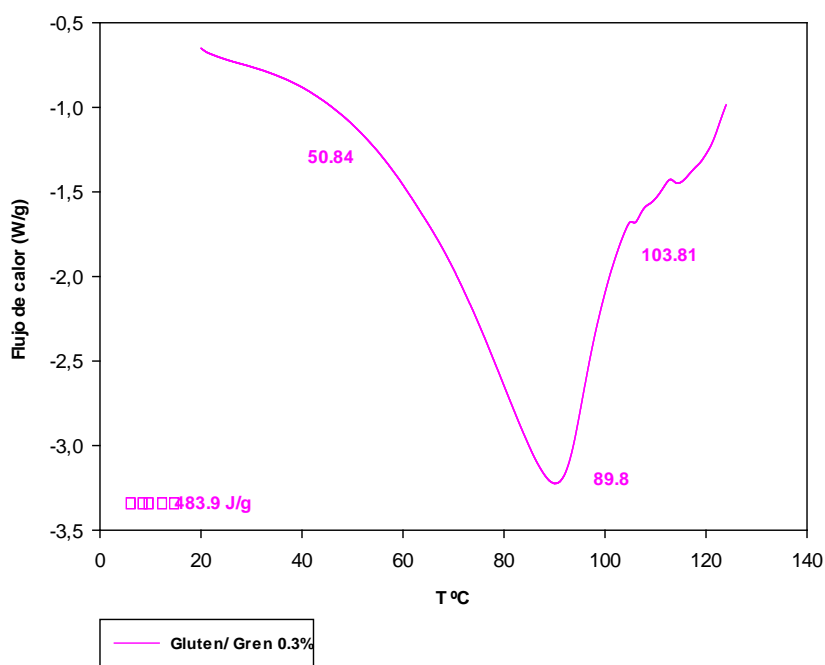
5.1. Resultados obtenidos para la resolución del objetivo particular 1.

5.1.1 Nivel de variación 1. Interacción de gluten- grenetina al 0.3%.

Para la evaluación de los cambios en el sistema de las interacciones propuestas a los diferentes niveles de variación se realizaron pruebas calorimétricas mediante calorimetría DSC a través del cambio entálpico y la temperatura máxima del evento térmico.

Se realizó un estudio calorimétrico para las temperaturas del evento térmico a la cual ocurre la desnaturalización de la harina de trigo al nivel de variación del 0.3% del sistema gluten-grenetina.

Gráfica 1. Termograma de la interacción gluten-grenetina 0.3%.



Al analizar el termograma expresado en la gráfica 1, se determinó que el proceso que se efectuó fue de índole endotérmico⁽⁶⁾, es decir se necesitó administrarle calor al medio para que este proceso se llevara a cabo, al adicionar grenetina para describir la interacción proteína-proteína en un 0.3% la temperatura a la cual se lleva a cabo el estado de desnaturalización de la proteína disminuyó en razón a su estado nativo teniendo un inicio aproximado en la temperatura de 50.84°C con un evento máximo en 89.8°C y finalizo en 103.81°C la cantidad de energía absorbida por el sistema expresándose por el ΔH de 483.9 J/g, el cual es menor a la energía necesaria expresada en el sistema de gluten sin ningún componente. Así mismo se observó en el gráfico un pico posterior del evento térmico de mayor interés que representa una transición de menor relevancia del comportamiento de la interacción gluten-grenetina que ocurrió posteriormente a la temperatura máxima de transición de la desnaturalización del sistema gluten- grenetina al 0.3%.

Por la estructura espacial de las proteínas involucradas se dedujo que la gnetina interactúo en mayor proporción por enlaces de hidrogeno y disulfuro con la estructura molecular de la glutenina, la cual es la que le confiere la estructura de red en la esponja alimenticia quedando disperso en su interior del mismo la gliadina como lo muestra la figura 11. ⁽⁴⁾⁽²⁰⁾⁽²⁴⁾⁽³³⁾⁽⁷⁾

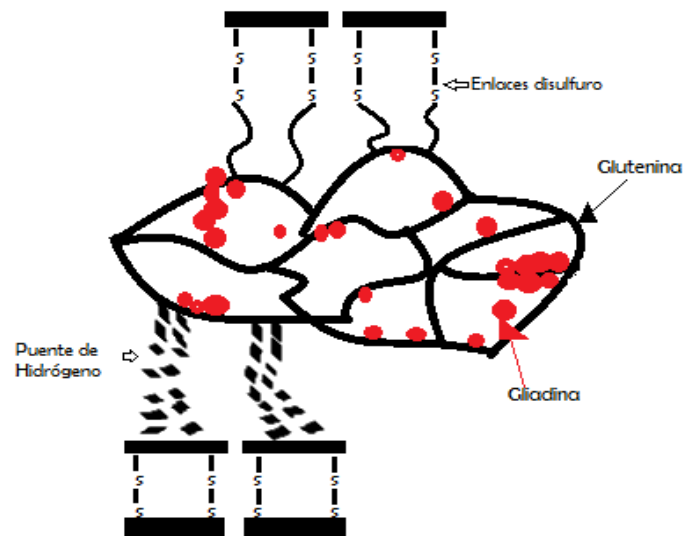
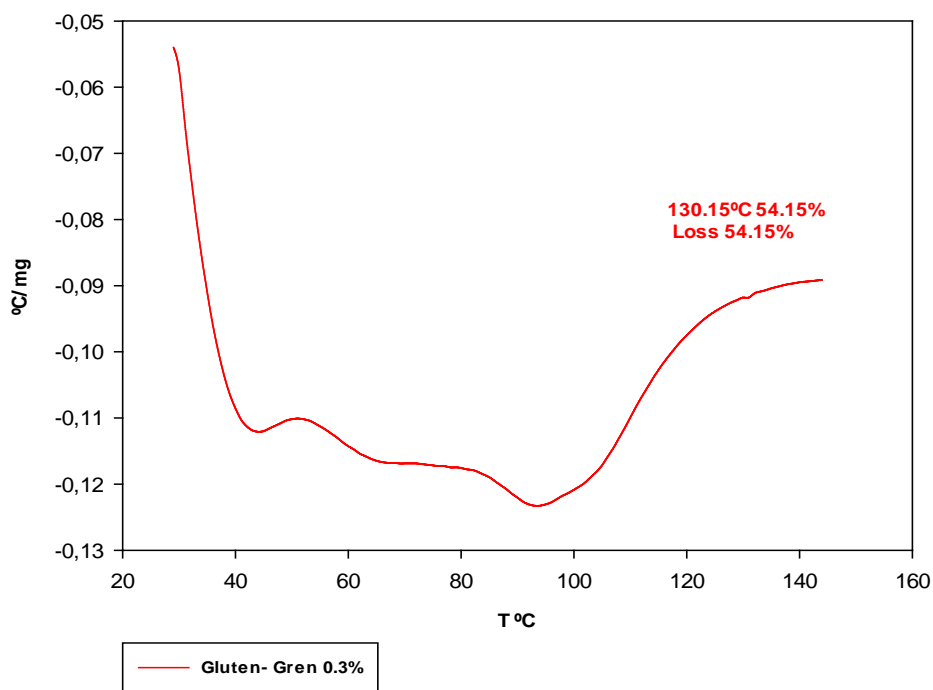


Figura 11. Modelo de interacción gluten- gnetina por enlaces disulfuro y puentes de hidrógeno.

Para determinar la pérdida de humedad y materiales volátiles que ocurre a la mezcla a someterla a altas temperaturas se realizo un análisis de TGA, expresado en la gráfica 2. El cual es complementario en el análisis térmico que se realiza mediante calorimetría DSC. ⁽⁴⁴⁾⁽⁵⁵⁾

Gráfica 2. Estudio termogravimétrico del sistema gluten- grenetina 0.3%.



Del estudio de TGA se determinó que al adicionarle grenetina al 0.3% a una temperatura final del proceso de elaboración de pan se conservó el 54.15% del total de la masa inicial con una pérdida de un 45.05% de agua y componentes volátiles. Lo que nos indica que la interacción gluten-grenetina al 0.3% de concentración tuvo una estructura que al llevarla a procesos de altas temperaturas volatiliza con mayor facilidad el agua y tiene una pérdida de masa mayor al gluten en estado nativo, Aunque cabe señalar que el decremento de humedad mayor en esta concentración le confiere al producto terminado un mayor volumen por las burbujas de aire que se forman en el interior del pan. ⁽³⁰⁾

El aire retenido en el interior del sistema alimenticio que es una causa del incremento volumétrico se observó a través de imágenes del tamaño de poro de la muestra analizada, En la interacción gluten- grenetina al 0.3% se visualizó en la figura 12 que los poros son de un diámetro visiblemente amplio, lo que indicó, la retención de aire en mayor proporción en el sistema panificable. ⁽⁵⁶⁾

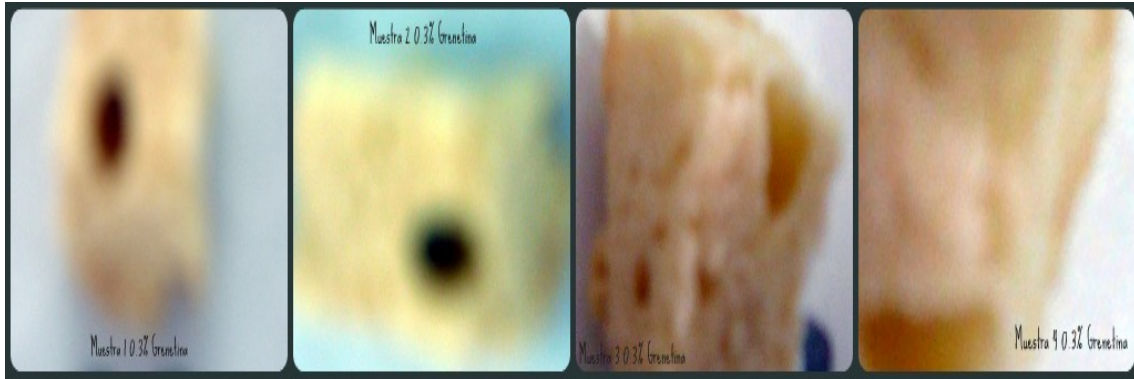
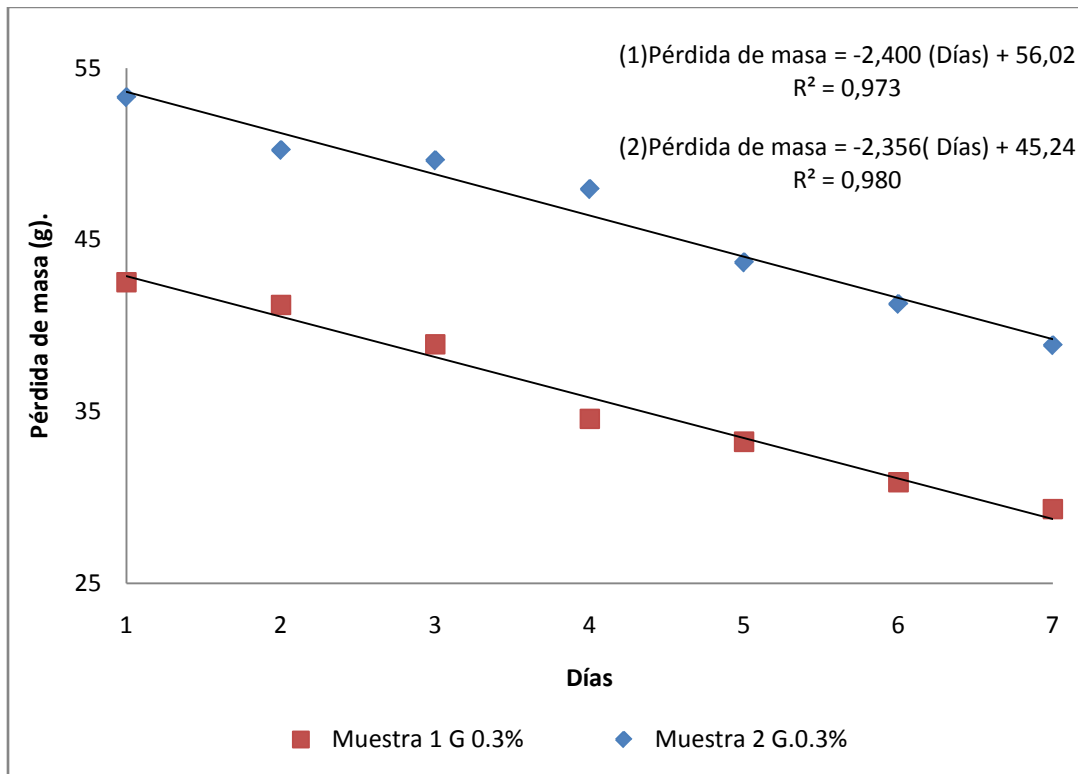


Figura 12. Tamaño de poro del pan obtenido en la interacción gluten-grenetina al 0.3%

Para analizar el cambio en vida de anaquel del nuevo sistema gluten- grenetina al 0.3% en el sistema panificable se evaluó la pérdida de masa de dos muestras de pan con grenetina al 0.3% por 6 días para observar el comportamiento en vida útil de dicha propiedad, los resultados se expresan en la gráfica 3, la tendencia lineal indicó la velocidad de pérdida de agua libre del alimento, se determinó que pierde de 2.356 a 2.408 g/día con una exactitud del 93.4 al 97.9 % en los datos experimentales.

Gráfica 3. Pérdida de masa de la interacción pan-grenetina 0.3%.



Posteriormente a una muestra patrón se le determinó la pérdida de masa y volumen acorde al volumen inicial antes y después de la cocción.

De la tabla 12 se dedujo que a dichas condiciones de proceso se obtuvo un incremento volumétrico mayor que la de pan blanco y la pérdida de masa es menor que la misma. Esto es a causa de la interacción gluten-grenetina lo cual le confiere a la masa panificable un incremento elástico en la red que conforma el pan lo que infiere directamente en el incremento volumétrico aumentando 19.625 cm³ respecto al pan testigo, por la capacidad de mayor retención de agua dentro del sistema alimenticio, así mismo la formación interior de nuevos enlaces como puentes de hidrogeno y disulfuro en el sistema generando una conservación por un mayor periodo de tiempo de humedad en el sistema proporcionando una mayor vida útil en el pan.⁽⁴⁾⁽⁶⁾⁽²⁰⁾

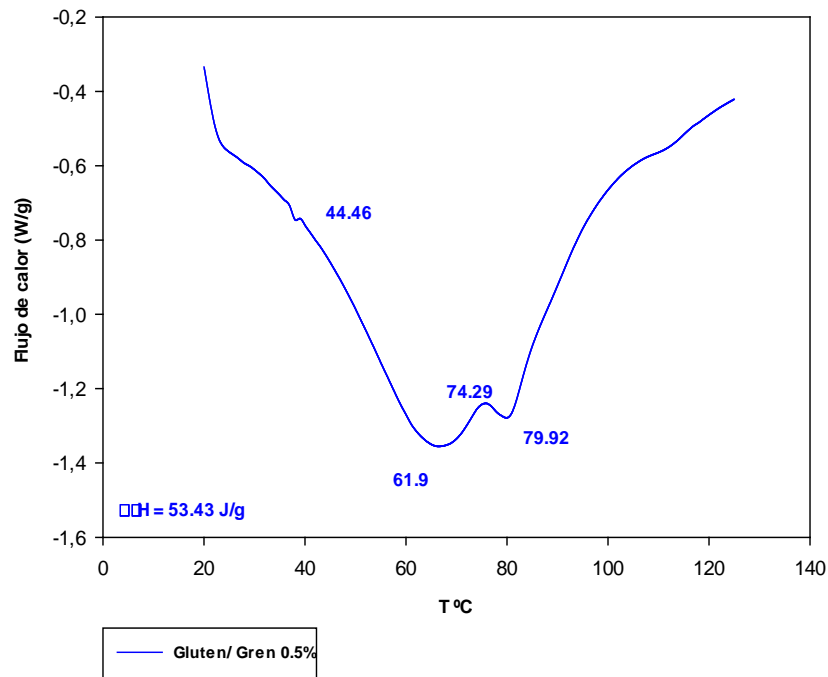
Tabla 12. Propiedades del pan con grenetina al 0.3%.

No de Muestra 2	Volumen inicial de la masa panificable. 161.7m ³ Humedad de la mezcla: 56.65%		
Tipo de Pan: Grenetina 0.3%	Masa antes cocción (g)	Masa final(g)	Decremento volumétrico.(cm ³)
Día 1	200.405	168.651	219.45
Día 3	200.405	153.557	210.78
Día 7	200.405	134.985	202.125

5.1.2. Nivel de variación 2. Interacción de gluten- grenetina al 0.5%.

Al igual que en el primer nivel de variación se realizó un análisis calorimétrico mediante DSC, expresado en la gráfica 4, se determinaron dos eventos que no están bien separados, lo cual se debe a las colisiones moleculares entre las proteínas conformadas por el gluten de trigo y la proteína presente en el sistema, esto sucede a causa que se presenta simultáneamente un evento de gelatinización de los componentes de la interacción gluten- grenetina al 0.5% de concentración y la estructura conformacional del nuevo compuesto resultado de la colisión entre las moléculas de grenetina-gliadina-glutenina. La temperatura de gelatinización se produjo a 79.92°C, el evento térmico del resultado de la interacción comenzó a 44.45°C, presentando una temperatura de cambio de fase en 61.9°C y expresando una temperatura final del proceso en 74.29°C, la cual también nos indicó que en el resultado de dicha interacción la temperatura de inicio del evento de desnaturalización proteica se presentó a una temperatura menor que la mencionada en el estado nativo de desnaturalización proteica y la concentración del 0.3% de grenetina.⁽²⁰⁾⁽²⁴⁾⁽³⁰⁾

Gráfica 4. Termograma de la interacción gluten- grenetina 0.5%.



La causa por la cual se presentó el fenómeno de gelatinización del sistema gluten- grenetina al 0.5%, se debe en principal instancia a la concentración de grenetina acorde a la formulación del sistema alimenticio, provocando un hinchamiento que se expresó en el termograma en un pico posterior indicando la transición de fase de una proporción del almidón presente en el gluten por arriba de su temperatura máxima del evento térmico, por lo que a la concentración del 0.5% se determinó que la temperatura de desnaturalización del nuevo complejo molecular gluten-grenetina 0.5%, ocurrió a una temperatura menor a la del gluten de trigo y la interacción correspondiente a la concentración del 0.3% de grenetina.⁽²⁰⁾⁽³¹⁾

Al incrementar la concentración de grenetina, se logró una mayor formación de puentes de hidrógeno en el sistema alimenticio, lo cual le confirió una mayor absorción de humedad en vida útil del alimento, así mismo los enlaces iónicos y cargas electrostáticas entre los aminoácidos de las cadenas de grenetina y gluten produjeron el fenómeno de gelatinización en la matriz alimenticia, lo cual influyó directamente en el cambio volumétrico del sistema alimenticio como lo muestra la figura 13.⁽²⁰⁾⁽²⁴⁾²⁹⁾⁽³³⁾⁽⁴⁸⁾

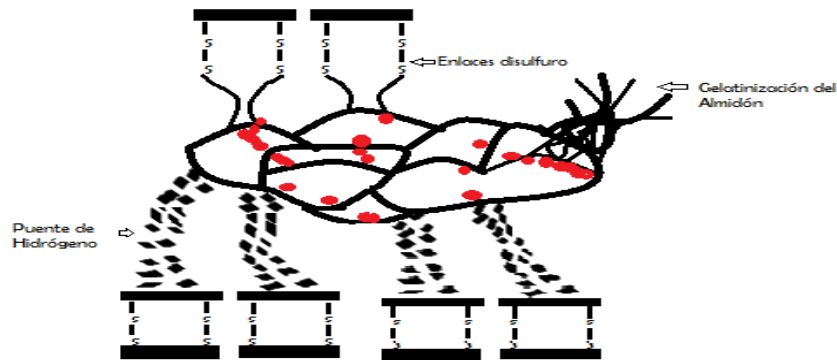
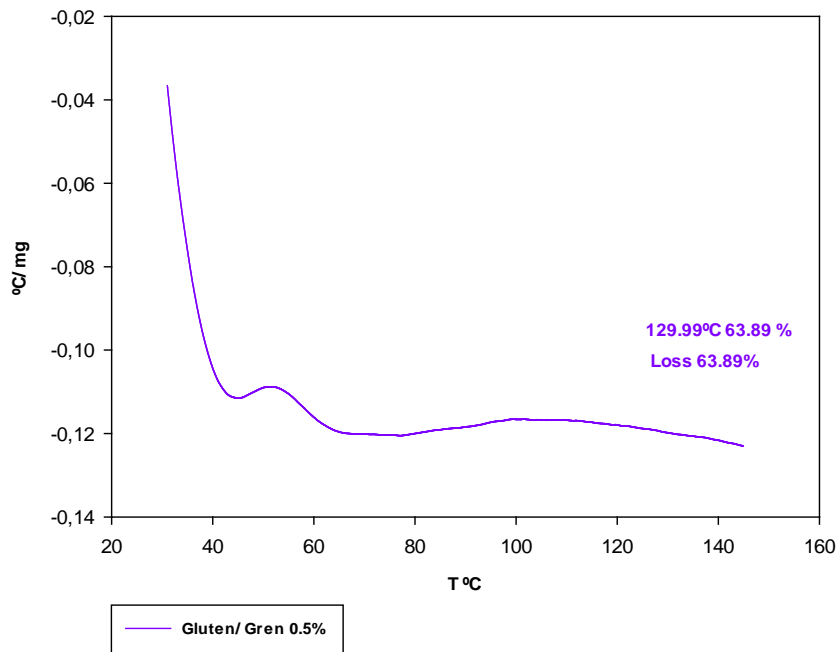


Figura 13. Modelo de interacción gluten-grenetina 0.5% por enlaces disulfuro, puentes de hidrógeno y gelatinización de las cadenas laterales.

Se realizó el análisis de TGA, expresado en la grafica 5, en el cual se evaluó que al alcanzar una temperatura de 129.99 °C en el evento térmico, la mezcla de grenetina con el 0.5% presentó una pérdida de materia volátil del 36.11% en el cual se determinó un decremento de humedad menor al estudio termogravimétrico observado en el gluten en estado nativo, lo que nos indica que la red que se conforma retiene mayor cantidad de humedad y componentes volátiles en referencia a la muestra patrón de gluten de trigo y la concentración del 0.3% de grenetina empleado en la formulación.⁽²⁰⁾⁽³⁰⁾⁽³³⁾

Gráfica 5. Estudio termogravimétrico del sistema gluten-grenetina 0.5%.



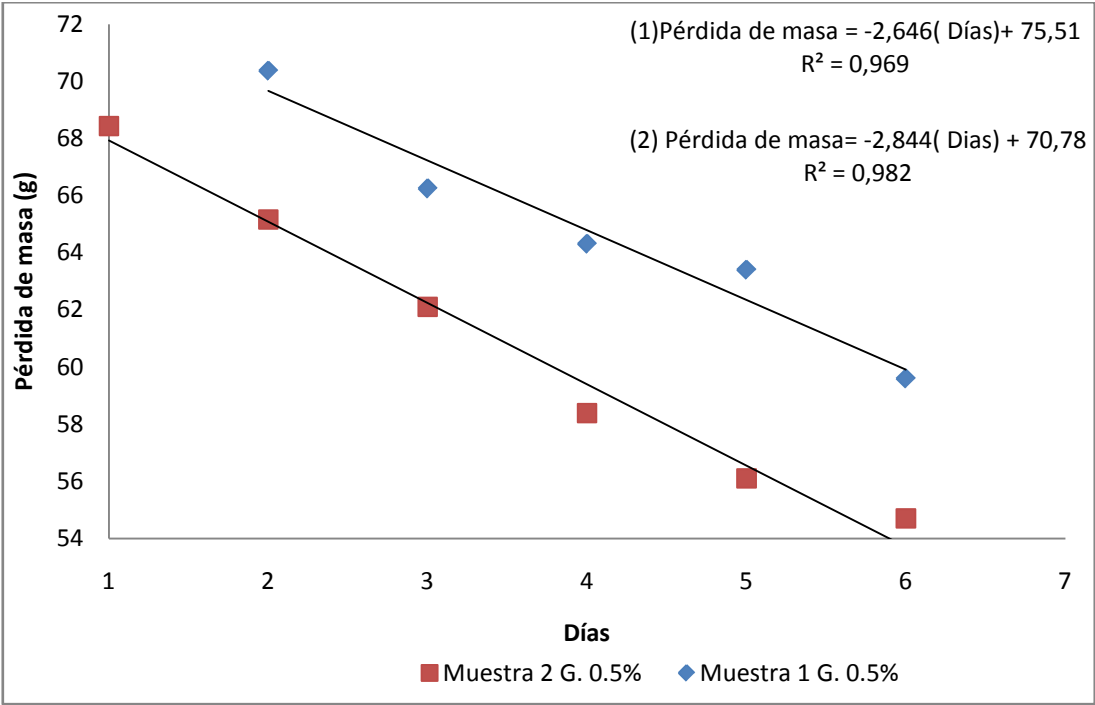
La porosidad del pan persistió a dicha concentración, presentándose poros en el sistema alimenticio de un tamaño equitativo a la concentración del 0.3% de gnetina en el sistema como lo muestra la figura 14 de las imágenes a dicha concentración. ⁽⁵⁶⁾



Figura 14. Tamaño de poro del pan obtenido en la interacción gluten-gnetina al 0.5%.

De manera análoga se tomaron 2 muestras de pan con gnetina a una concentración del 0.5% y se evaluó mediante una regresión lineal, expresada acorde a los resultados de la gráfica 6, para la evaluación de la pérdida de masa en un periodo de 7 días, la pendiente nos indicó la velocidad de pérdida de masa a la concentración establecida, en un rango de intervalo de confianza del 96.9% al 98.2%, teniendo una pérdida de masa en anaquel en un intervalo de 2.646g a 2.844g por día.

Gráfica 6. Pérdida de masa de la interacción pan- gnetina 0.5%.



El incremento volumétrico, expresado en la tabla 13, fue proporcional respecto a la concentración de gnetina utilizada en la formulación ya que como se sabe esta le confiere mayor elasticidad a la red del compuesto obtenido de la interacción entre estas dos proteínas, dicho incremento al momento de la cocción fue de 69.3 cm³. Presentó un menor decremento tanto en masa como en volumen a comparación del pan testigo y la concentración del 0.3% de gnetina.

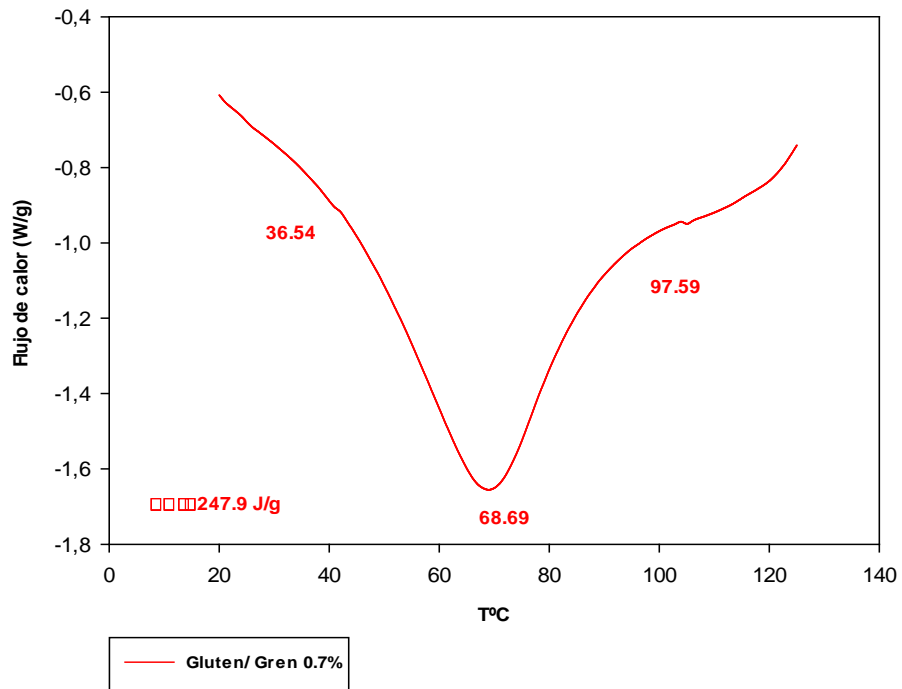
Tabla 13. Propiedades de pan con gnetina al 0.5%.

No. Muestra 3	Volumen inicial de masa panificable. 132.825 cm ³ Humedad de la mezcla: 56.65%		
Tipo de Pan: Gnetina 0.5%	Masa antes cocción. (g)	Masa final.(g)	Decremento volumétrico.(cm ³)
Día 1	173.65	151.212	202.125
Día 3	173.65	137.198	199.237
Día 7	173.65	123.983	190.575

5.1.3 Nivel de variación 3 Interacción de gluten/ gnetina al 0.7%.

En el análisis calorimétrico, expresado en mediante el termograma de la grafica 7, correspondiente a la interacción gluten-gnetina al 0.7%, señaló que el evento térmico comenzó a una temperatura de 36.64°C, se determinó que la concentración de gnetina adicionada al sistema influyó de una manera directamente proporcional a la temperatura del inicio del evento térmico causante de la desnaturalización de la estructura formada por la interacción proteína-proteína , su temperatura máxima del evento se presentó a 68.69°C y finalizó en 97.59°C, como se observa en la gráfica 7 se muestra un solo pico lo cual determina que solamente existe la presencia de un solo compuesto presente de las colisiones de gluten-gnetina 0.7% y la masa formada en dicha estructura no presenta el fenómeno de gelatinización , se obtuvo un ΔH de 247.9J/g lo cual es menor que el ΔH del gluten y la concentración del 0.3% de gnetina por lo que al aumentar la concentración de gnetina presente en el sistema al 0.7% la energía que se requirió en todo el proceso de desnaturalización del gluten es menor a la obtenida a una concentración mínima y a la prueba patrón de gluten de trigo .⁽²⁰⁾⁽⁴⁴⁾⁽⁴⁸⁾

Gráfica 7. Termograma de la interacción gluten-grenetina 0.7%.



La temperatura a la que se inicio el evento térmico es menor que a las concentraciones establecidas (0.3 y 0.5%), esto ocasiona que se pierda mayor agua y materiales volátiles en el proceso de calentamiento de la mezcla lo cual se observó en el análisis de TGA, sin embargo la formación de la red de gluten-grenetina después del proceso de cocción se mantuvo estable logrando obtener un pan que pierde materia volátil en vida útil en menor proporción a las concentraciones del 0.3 y 0.5 % de grenetina en la formulación, por los enlaces y uniones presentes a consecuencia del incremento de concentración de grenetina, como se esquematiza en la figura 15.⁽²⁰⁾⁽³⁰⁾⁽³³⁾

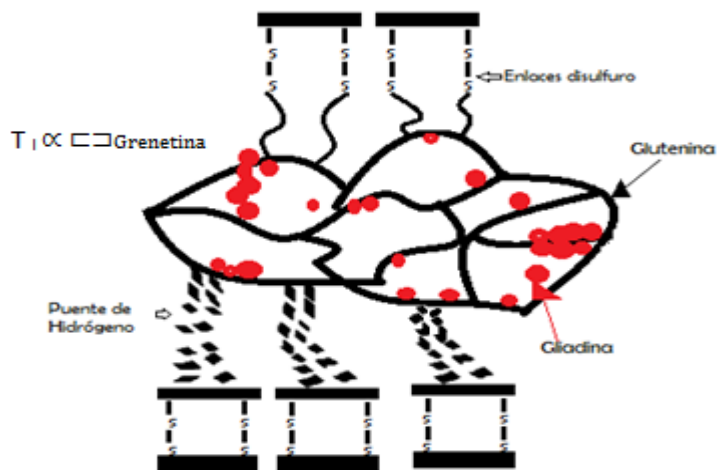
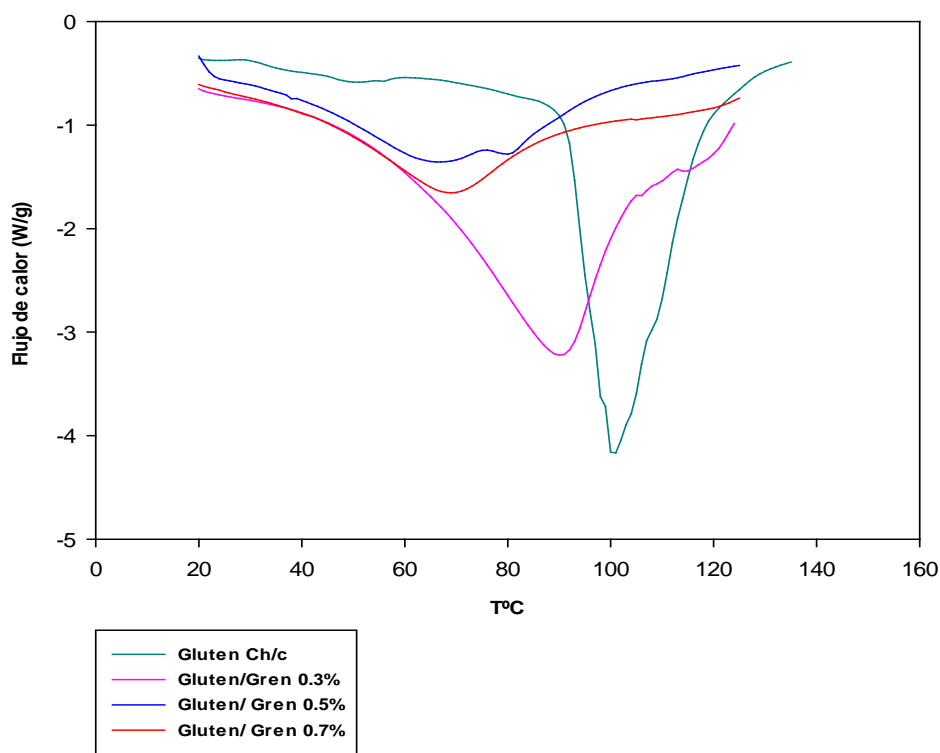


Figura 15. Modelo de interacción gluten- grenetina 0.7% por enlaces disulfuro y puentes de hidrógeno en el sistema.

Se realizó un análisis comparativo de las diferentes concentraciones utilizadas para el análisis de las interacciones del gluten con grenetina con el estado nativo de desnaturalización del mismo, expresado en la gráfica 8.

Gráfica 8. Termograma comparativo de las interacciones gluten- grenetina al 0.3, 0.5 y 0.7%.



El mayor flujo de calor lo presentó el gluten en su estado nativo de desnaturalización posteriormente al adicionarle el 0.3% de grenetina a la formulación se observó que este disminuyó en comparación a su estado nativo, sin embargo, para concentraciones mayores o iguales a 0.5% de grenetina se determinó que el flujo de calor en el evento térmico es muy aproximado. Por lo que a concentraciones mayores a la recomendada (0.5%) el flujo de calor para que se lleve a cabo el proceso de desnaturalización se estandariza en valores mayores, mientras que el gluten en estado nativo mostró mayor estabilidad térmica.

A partir de los termogramas de la interacción gluten- grenetina por el método de Kissinger obtenido por mínimos cuadrados del inicio del evento térmico a la temperatura máxima del mismo (anexo 2.pág.XIV, XV.Gráfica.53, 54 y 55) se evaluó la energía de activación de las diferentes concentraciones establecidas, para determinar en cuál de los sistemas la temperatura tuvo mayor efecto sobre la formación de los enlaces moleculares presentes. ⁽¹⁶⁾⁽³³⁾

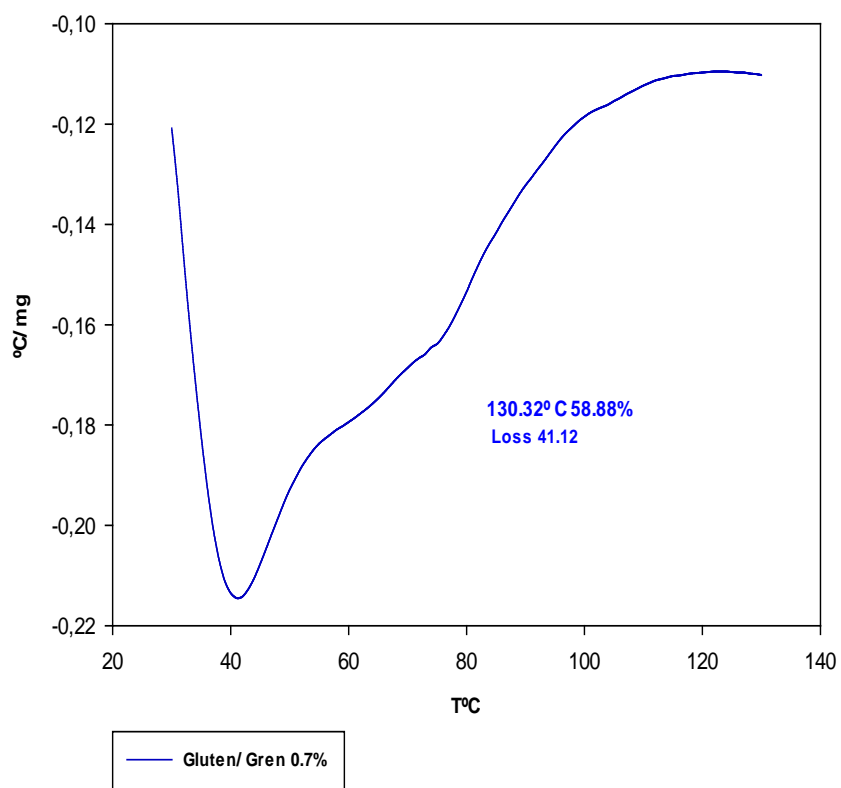
En la tabla 14 se expresaron los valores de energía de activación en relación al gluten patrón concluyendo que al interaccionar grenetina al gluten, la energía de activación muestra decremento en relación al estado nativo, obteniendo el menor valor a aplicar para que inicie la reacción de desnaturalización a la concentración del 0.5%.

Tabla 14. Energía de activación de interacción gluten- grenetina al 0.3, 0.5 y 0.7%.

□Grenetina□ %	Energía de Activación (J/mol)	Coefficiente de Correlación %
Gluten	373.6	99.9
0.3	351.8	99.9
0.5	317.8	99.9
0.7	337.8	90.0

Del análisis de TGA, expresado en la gráfica 9, se determinó que a la concentración del 0.7% a una temperatura de 130.32°C se perdió el 41.12% de materia volátil y se conservó el 58.88% de la masa inicial, lo cual muestra que no existe proporcionalidad en la relación de retención de humedad y materiales volátiles respecto a la concentración debido a que esta característica es propia de la red que se conforma con la interacción de dichas moléculas. ⁽²⁰⁾⁽³⁰⁾⁽⁴⁴⁾

Gráfica 9. Estudio termogravimétrico del sistema gluten- grenetina 0.7%.



La porosidad del pan fue de menor tamaño referente a las concentraciones anteriores como se observa en la figura 16.

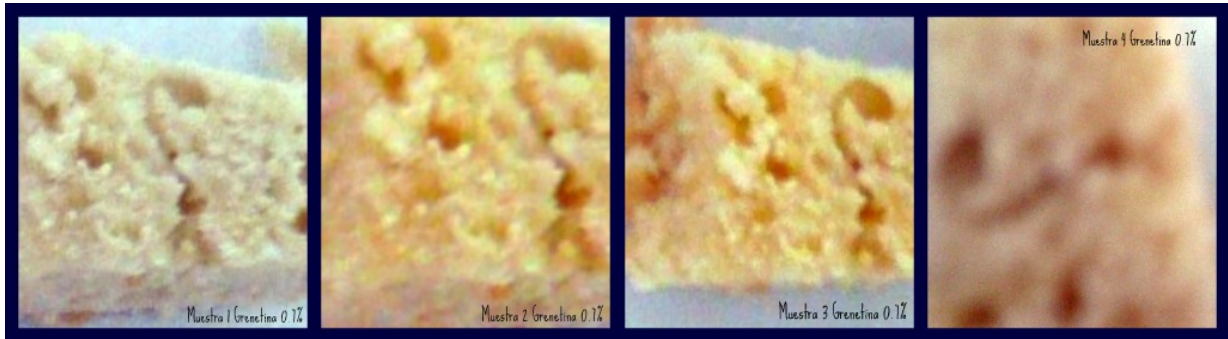


Figura 16. Tamaño de poro del pan obtenido en la interacción gluten-grentina al 0.7%.

La muestra para tomar las imágenes a los poros formados fue de la parte intermedia del pan, por la caracterización de la distribución de dicha propiedad ya que en los extremos del molde se genera una menor porosidad en comparación con el centro, el vapor obtenido durante la cocción es el que ocasiona una mayor porosidad en el centro del alimento.⁽⁷⁾⁽⁵⁶⁾

La concentración de grentina en el sistema genera nuevos enlaces de acuerdo a las interacciones que suceden y los efectos estéricos dentro del mismo sistema proteína- proteína y las colisiones inter e intra moleculares que suceden en la red elástica formada principalmente entre la glutenina y la grentina. En el proceso de elaboración de pan influye considerablemente en el proceso de cocción la presión de vapor la cual es la principal causa de la formación de los poros del pan, se determinó que a concentraciones de 0.3 y 0.5% el tamaño de poro es de mayor tamaño a comparación del obtenido a la concentración del 0.7%.

Por el tamaño observado en la figura 17, se estableció que a concentración del 0.3 y 0.5 % se generó una mayor presión de vapor dentro del alimento lo que fue la causa de que los poros obtenidos se mostraran más pronunciados en el pan, esto influyó de manera directa en la capacidad volumétrica capaz de adquirir el pan en el proceso.⁽⁴⁾⁽²⁰⁾⁽²⁴⁾

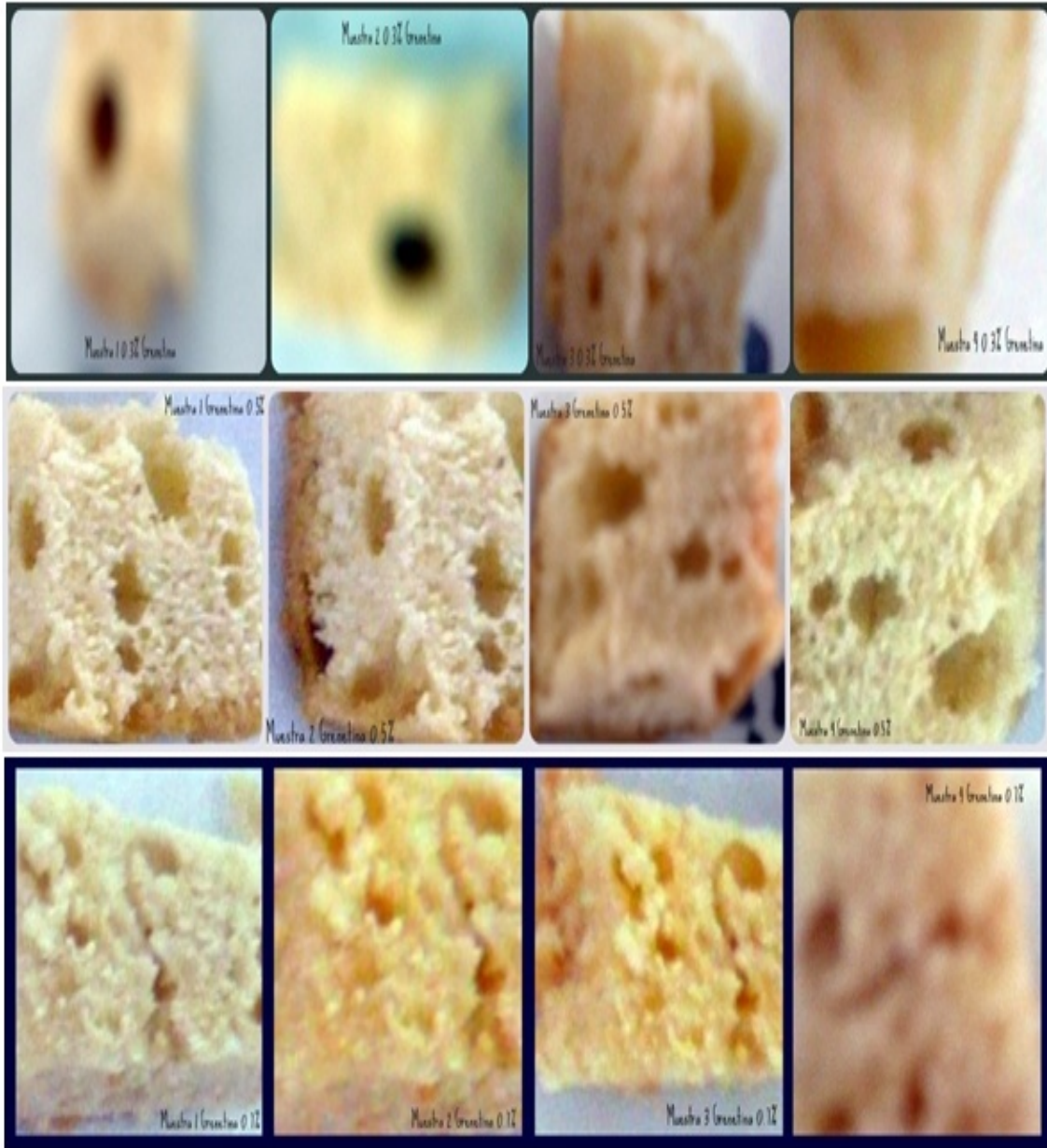
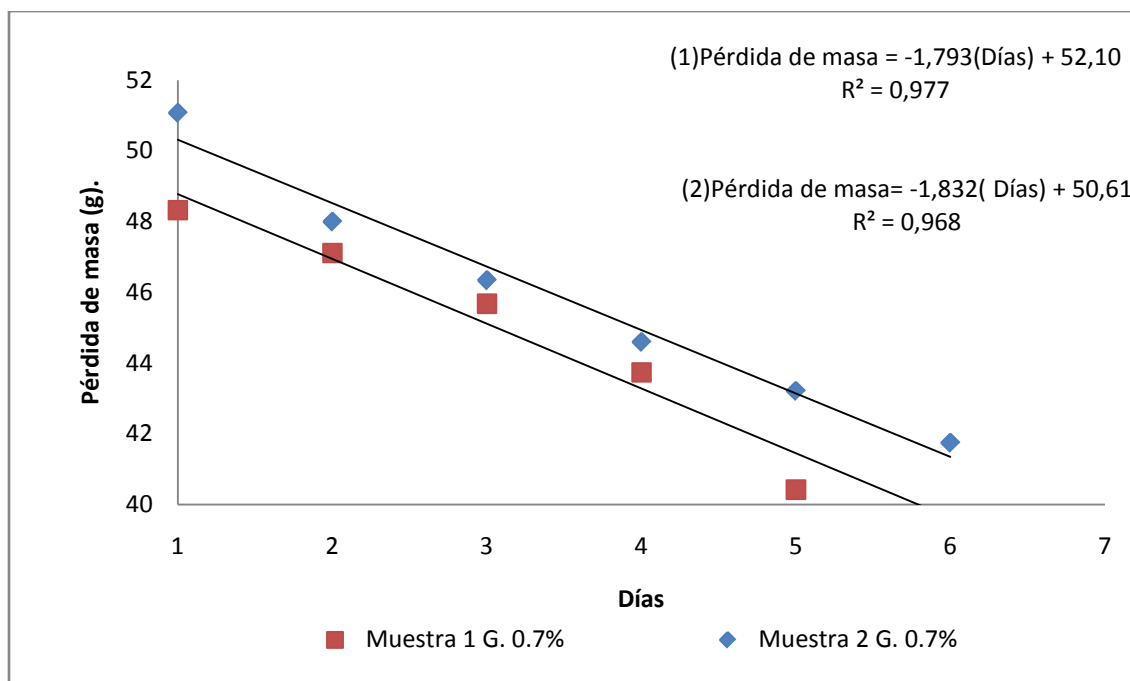


Figura 17. Tamaño de poro del pan obtenido en la interacción gluten-grentina al 0.3, 0.5 y 0.7%.

Se prosiguió a realizar la misma metodología mencionada en los otros dos niveles anteriores tomando 2 muestras de pan con grentina al 0.7%, expresado en la gráfica10, la regresión lineal indicó que perdió de 1.83g a 1.793g por día, con un intervalo de confianza del 96.8% al 97.7%.

Gráfica 10. Pérdida de masa de la interacción gluten – gretetina al 0.7%.



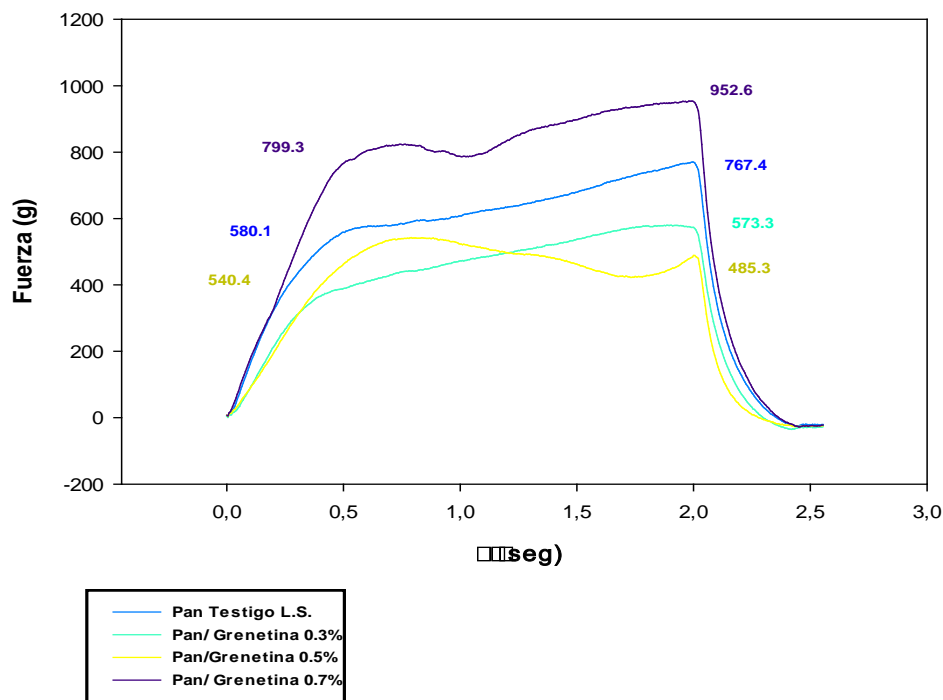
En la interacción del gluten con la gretetina al 0.7% se obtuvo un incremento volumétrico mayor en relación de la concentración utilizada, el incremento en el volumen si mostró tener una tendencia directamente proporcional de aumento en relación a la concentración de proteína adicionada al sistema, teniendo un incremento de 74.6 cm^3 en el proceso de cocción, en vida de anaquel se perdió solo 7.509 cm^3 , siendo la concentración que obtuvo menores pérdidas volumétricas; los valores correspondientes respecto al volumen inicial de la masa madre y el volumen en anaquel se expresa en la tabla 15.

Tabla 15. Propiedades del pan con gretetina al 0.7%

No. Muestra 4	Volumen inicial de la masa panificable. 150.15 cm^3 Humedad de la mezcla: 56.65%		
Tipo de Pan: Gretetina 0.7%	Masa antes cocción.(g)	Masa final.(g)	Decremento volumétrico.(cm^3)
Día 1	190.8	158.46	224.75
Día 3	190.8	143.482	221.56
Día 7	190.8	132.523	217.241

Para evaluar la influencia de la interacción proteína- proteína en lo que respecta al análisis de textura, se realizaron 3 mediciones en el pan, una en la parte superior del mismo, en la parte intermedia y en el lado inferior para determinar la dureza como la fracturabilidad del pan en diferentes puntos del sistema.⁽²⁰⁾⁽²⁴⁾⁽⁴⁰⁾⁽⁴⁵⁾⁽⁵⁴⁾

Gráfica 11. Prueba de textura de la interacción pan- grenetina (lado superior)

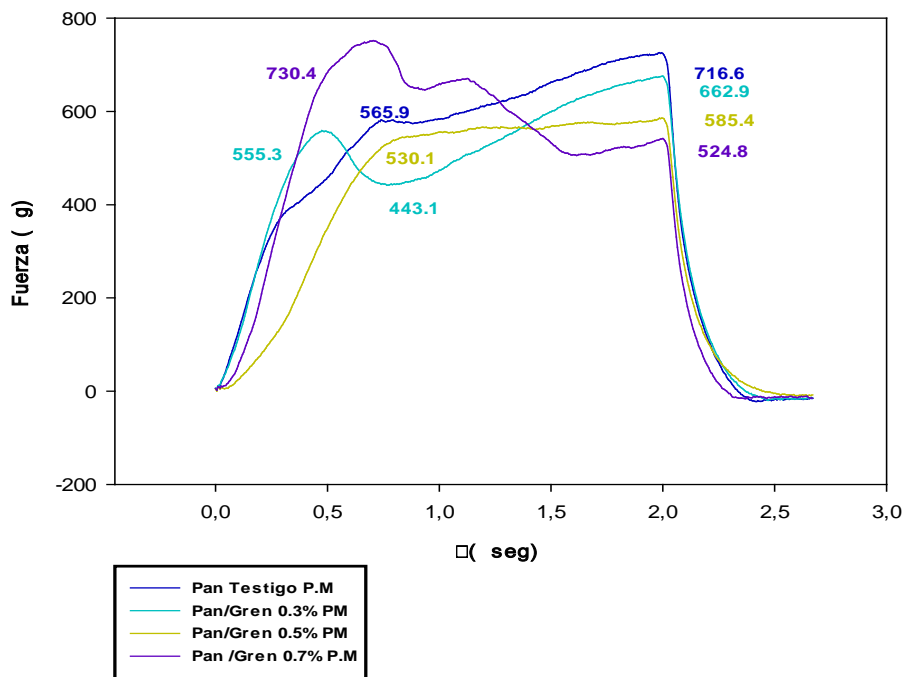


Al comparar las diferentes concentraciones de grenetina utilizadas en el lado superior del sistema, referente a la gráfica 11, se evaluó que a concentraciones menores del 0.7% en la formulación la interacción grenetina- gluten presentaron un punto de fracturabilidad y de dureza menor al pan testigo, en la formulación al 0.3% no se mostró un punto de fracturabilidad debido a la estructura formada por la interacción proteína- proteína a dicha concentración; presentó una dureza de 573.3 g/s que a comparación con la muestra de pan testigo disminuyó 194.1 g/s ; al 0.5% de concentración se obtuvo un punto de fracturabilidad de 540.4 g/s y una dureza menor a la concentración del 0.3% y la prueba testigo con un valor puntual de 485.3 g/s, lo cual estableció que al utilizar concentraciones menores al 0.5% de grenetina en la formulación, el parámetro de dureza disminuyó en base a la prueba patrón utilizada debido a la elasticidad en la estructura que le confiere la interacción proteína- proteína en el sistema.

Al utilizar una concentración de 0.7% en la formulación se determinó que el sistema alimenticio presentó una mayor dureza y punto de fracturabilidad en relación a la muestra patrón esto indica que a dicha concentración en el área superior del pan existió una menor interacción entre las moléculas de las proteínas del sistema por lo que se estableció que en la estructura superior el utilizar dicha concentración influyó para formar una costra de pan con mayor dureza , debido a que es el área de mayor contacto al calor influyó para que los enlaces presentes de proteína-

proteína sean de menor estabilidad por lo que no le confiere las propiedades características de elasticidad y soporte de la gretina de proporcionar al pan una menor dureza en el análisis textural.

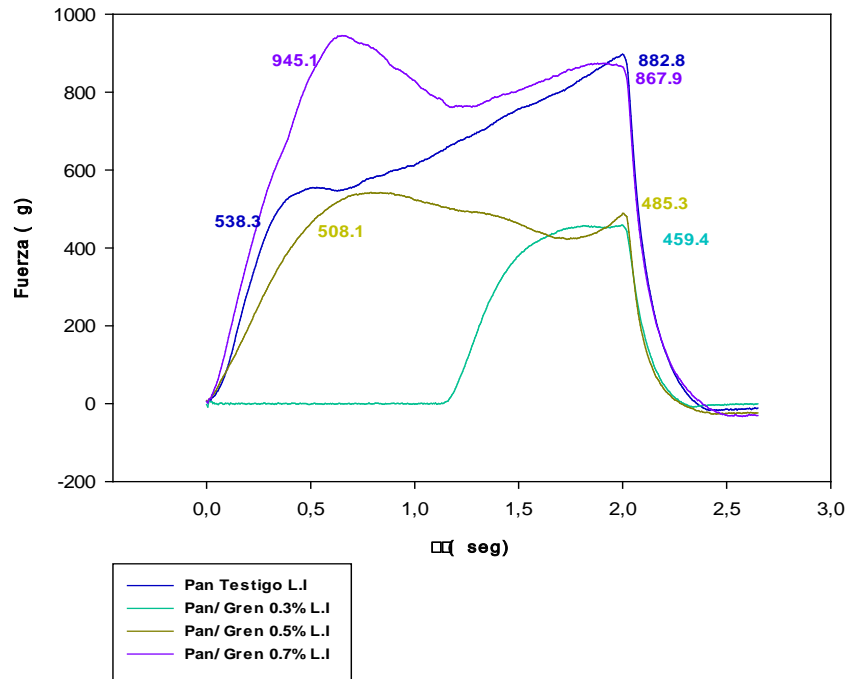
Gráfica 12. Prueba de textura de la interacción pan- gretina (punto medio).



En el punto medio del sistema alimenticio, cuyos parámetros texturales son expresados en la gráfica 12, se observó que la interacción molecular de proteína- proteína actuó de manera diferente que el lado superior esto se debe a que el contacto al calor en la estructura de las proteínas en el punto medio del alimento modificó las propiedades texturales. La concentración del 0.3% de la interacción de proteínas obtuvo una fracturabilidad de 555.3 g/s, debido a la estructura elástica que le confiere la adición de gretina en la estructura del pan, la estructura a causa de la interacción presentó una modificación y se obtuvo otro punto de fractura de 443.1 g/s, la dureza que se produjo a esta concentración fue de 662.9 g/s, a la concentración de 0.5% se presentó un solo punto de fracturabilidad de 530.1 g/s y una dureza de 585.4 g/s que a referencia del pan testigo disminuyo, al utilizar una concentración del 0.7% su punto de fracturabilidad fue mayor que las que presentan las diversas interacciones a las concentraciones establecidas y la del pan testigo, generando un punto de fracturabilidad de 730.4 g/s con un comportamiento similar en estructura a la concentración del 0.3%, presentando otro punto de fracturabilidad de 650.5 g/s, al utilizar dicha concentración es la que presentó menor dureza en el sistema alimenticio de 524.8 g/s, respecto a la propiedad textural de dureza se determinó que la concentración de gretina en el sistema siguió una influencia directamente proporcional y a mayor concentración de gretina que se aplicó al pan en la formulación la dureza de este disminuyó, respecto a la fracturabilidad se evaluó que tiene cambios respecto a la elasticidad que le confirió el sistema gluten-gretina y esto se debe a los enlaces no covalentes que se presentaron en el sistema así mismo por el enlace

glutenina/ grenetina ya que la glutenina es una holoproteína que interactuó con la grenetina en la estructura de membrana de retención de humedad en el sistema disperso que corresponde a una esponja semisólida.

Gráfica 13. Prueba de textura de la interacción pan- grenetina (lado inferior).



La interacción en el lado inferior de la muestra de pan, cuyos parámetros texturales son expresados en la gráfica 13, determinó que a concentraciones de 0.3% y 0.5% la dureza disminuyó en relación al pan testigo, utilizando una concentración de 0.3% en la parte inferior del pan no se mostró punto de fracturabilidad al hacer el análisis de TPA, es la concentración que presentó menor dureza respecto a la prueba testigo y las concentraciones establecidas en la formulación, en la concentración del 0.5% de grenetina se obtuvo una fracturabilidad de 508.1 g/s y una dureza de 485.3 g/s la cual en relación al pan testigo es menor y presentó una dureza mayor a la concentración del 0.3%, al utilizar una concentración de 0.7% en la formulación se observó un punto de fracturabilidad y dureza mayor a las concentraciones de 0.3 y 0.5% con un valor puntual de fracturabilidad de 945.1 g/s y de 867.9 g/s en dureza, en la parte inferior se dedujo que las concentraciones usadas en la formulación para la elaboración de pan lograron disminuir la dureza respecto al pan testigo teniendo menor dureza las concentraciones del 0.3% y 0.5%, se analizó que la concentración adicionada a la formulación no fue proporcional a la disminución de la dureza de las mismas y esto se debe a que influyen varios enlaces como los puentes de hidrógeno ya que la cantidad de agua en el sistema no se distribuyó en las mismas proporciones, además que las interacciones y cargas moleculares no son las mismas en los diferentes puntos del sistema.

En el primer objetivo al analizar las interacciones proteína- proteína se evaluó que influye en los parámetros texturales el punto en el sistema donde se determinó la muestra ya que las interacciones en el sistema son diferentes tanto en la parte superior, el punto medio y la parte inferior del pan, esto se debe a la heterogeneidad de los componentes y enlaces en los diversos puntos del mismo, igualmente la fuente de calor que se aplica en el proceso de cocción influye a que las proteínas involucradas logren una desnaturalización y el sitio activo de las proteínas interactúen para lograr formar un enlace que le confiera propiedades de elasticidad, formación de una red de estructura más fuerte, mayores puentes de hidrógeno para lograr una retención de humedad y con ello mejores propiedades texturales dentro del sistema.

En el lado superior se obtuvo menor dureza en el pan al adicionarle el 0.5% de gnetina en la formulación y una mayor fracturabilidad al adicionarle un 0.7% de dicha proteína, lo que indicó que un pan con el 0.5% de gnetina en la superficie tendrá una mayor suavidad al tacto lo cual se lo confiere la red elástica capaz de retener agua en la superficie del mismo, agregarle más del 0.5% mostró que en la superficie del mismo obtuvo una costra más dura y aparte un pan muy frágil al tacto.

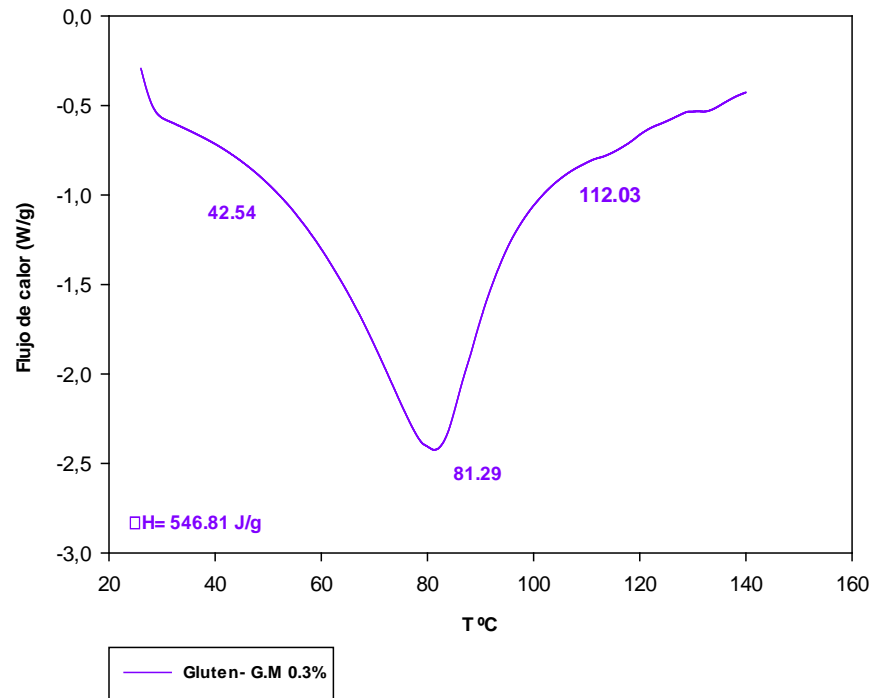
En el punto medio se presentó una menor dureza a la concentración del 0.7% pero es un pan muy frágil al tacto, la concentración del 0.5% le confiere una dureza menor a la prueba testigo y la concentración de gnetina del 0.3% con una diferencia de 60.6 g/s respecto a la concentración del 0.7%. En el lado inferior la concentración de gnetina del 0.3% es la que proporciona menor dureza en el sistema, con una diferencia de 30.4 g/s a la concentración del 0.5%. Por lo anterior se deduce que en la interacción proteína- proteína la concentración óptima al usar en la formulación para el mejoramiento en las propiedades texturales del pan es de 0.5%.^{(20) (24) (40) (45) (54)}

5.2. Resultados obtenidos para la resolución del objetivo particular 2.

5.2.1 Nivel de variación 1. Interacción de gluten- goma de mezquite al 0.3%.

De manera análoga al objetivo particular 1 se analizaron los cambios conformacionales mediante calorimetría DSC, el evento térmico en el primer nivel de variación, expresado en la gráfica 14, comenzó a una temperatura de 42.54°C, el punto crítico de desnaturalización inició a una temperatura de 81.29°C y culminó en 112.03°C, con un valor de ΔH de 546.8 J/g, al adicionarle la goma de mezquite respecto al evento que se presenta en el gluten de trigo se determinó que el punto crítico de desnaturalización se presentó a una temperatura menor por 19.9°C, lo cual indicó que el nuevo compuesto que se obtuvo debido a sus estructuras proteicas y electrolíticas, formó un solo compuesto entre el gluten y la goma de mezquite y debido a que no se presentó otro pico endotérmico, se puede considerar que durante el proceso no se llevó a cabo una reacción de gelatinización ni interactuaron por separado las proteínas y dicha desnaturalización proteica no es reversible.⁽¹⁰⁾⁽²⁹⁾⁽⁴⁸⁾⁽⁵⁰⁾

Gráfica 14. Termograma de la interacción gluten- goma de mezquite al 0.3%.



La goma de mezquite interactuó con el gluten de trigo de tres maneras diferentes: por su fracción electrolítica por enlace iónico formando una red cristalina en sinergia con la red elástica del gluten, mediante sus cadenas hidrófobas y por su fracción proteica, como lo muestra la figura 18. (6)(10)(29)(48)

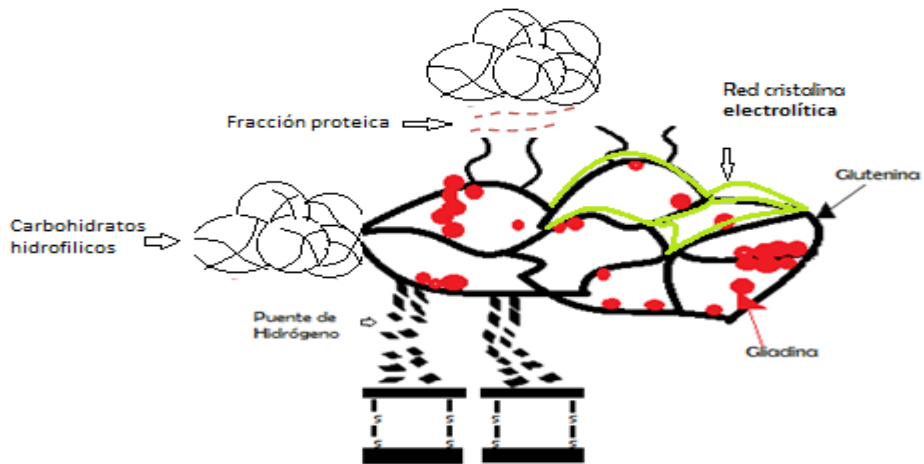
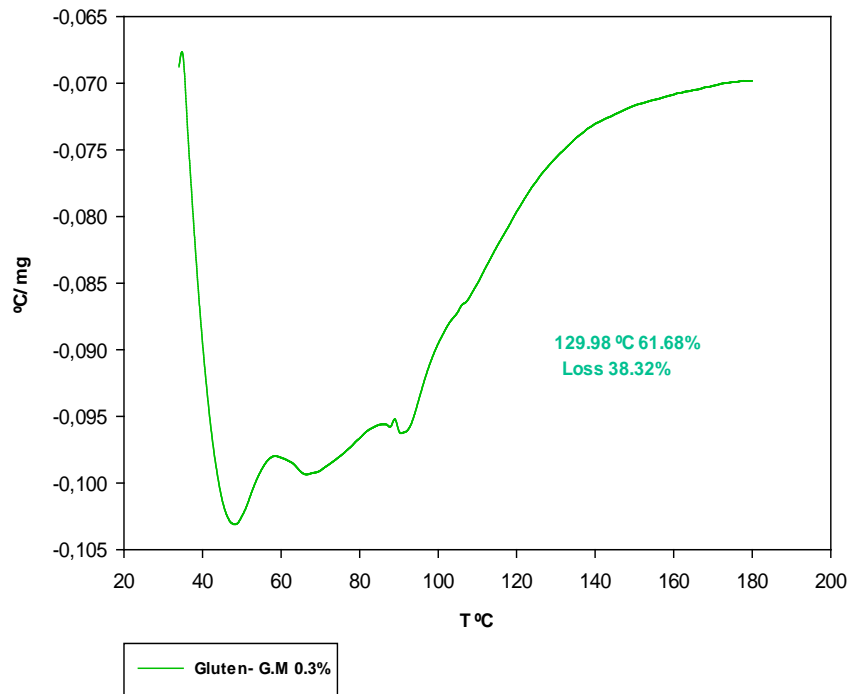


Figura 18. Modelo de interacción gluten- goma de mezquite 0.3%.

Referente a la pérdida de componentes volátiles y humedad de la mezcla, determinado mediante el análisis termogravimétrico que se expresa en la grafica 15, se observa que al final del proceso que son las condiciones en las que se lleva a cabo el horneado del pan se conserva el 61.68% de la masa inicial, la cual es mayor a la masa que se conserva en el gluten de trigo por lo que se deduce que al adicionarle la goma a nuestro sistema esta mediante la red que forma para captar humedad dentro del sistema hace una estructura más fuerte y cuyos enlaces son más fuertes en el interior de la misma.

Gráfica 15. Estudio termogravimétrico de la interacción gluten-goma de mezquite al 0.3%.



La estructura de la miga de pan y porosidad cambia de acuerdo a las propiedades que le confiere la goma de mezquite al sistema, las imágenes de la figura 19 señalan la estructura del poro del pan a la concentración del 0.3% de goma de mezquite, el sistema muestra poros pequeños en comparación a la interacción proteína – proteína, los poros son menos definidos y de menor diámetro. Por el tamaño y estructura conformacional del poro se observa que al interaccionar el gluten con la goma de mezquite se forma una nueva estructura en la red conformada para la obtención de la esponja alimenticia, donde los espacios interiores de captura de aire son pequeños pero constantes en todo el sistema alimenticio. ^{(10) (20) (50) (56)}

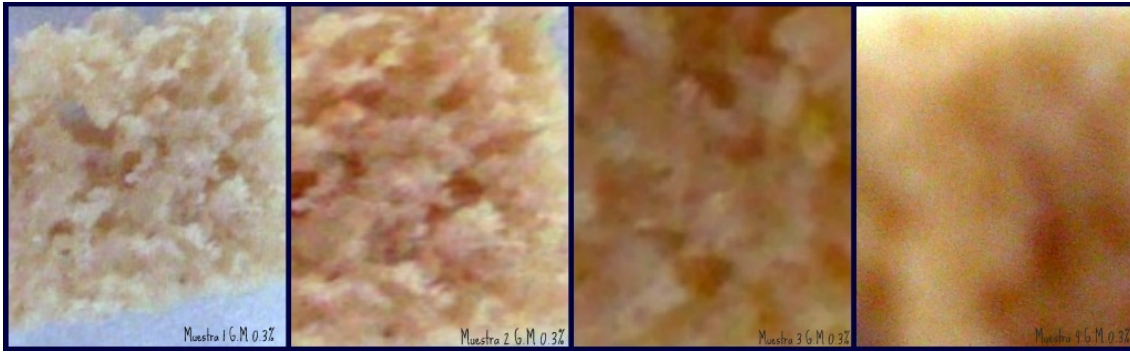
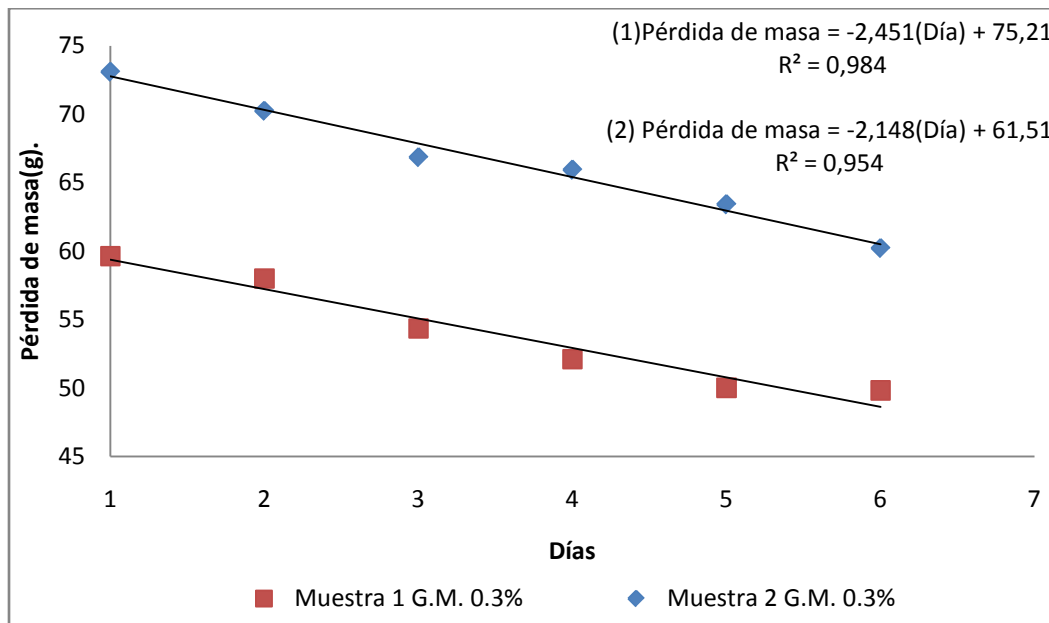


Figura 19. Tamaño de poro del pan obtenido en la interacción gluten-goma de mezquite al 0.3%.

Se prosiguió a realizar el análisis de pérdida de masa, observado en la grafica 16, de la interacción de proteína-goma de mezquite, al adicionarle al gluten 0.3% de goma de mezquite en su formulación, mediante dos muestras de pan por un periodo de 6 días y una muestra patrón para analizar el incremento volumétrico de la masa de panificación inicial y la perdida en volumen y masa de la misma.

Gráfica 16. Pérdida de masa de la interacción pan- goma de mezquite al 0.3%.



Al adicionar al gluten el 0.3% de goma de mezquite se observó que la pérdida de masa que se debe a los componentes volátiles de la mezcla y agua libre es de razón de 2.148 a 2.451g/día con un intervalo de confianza del 95.4% al 98.4% de los datos experimentales.

Tabla 16. Propiedades del pan con goma de mezquite al 0.3%.

No de Muestra :5	Volumen inicial de la masa panificable. 231 cm ³ Humedad de la mezcla: 56.65%		
Tipo de Pan: G.Mezquite 0.3%	Masa antes cocción (g)	Masa final(g)	Decremento volumétrico.(cm ³)
Día 1	273.53	256.84	281.425
Día 3	273.53	234.815	278.537
Día 7	273.53	219.713	275.653

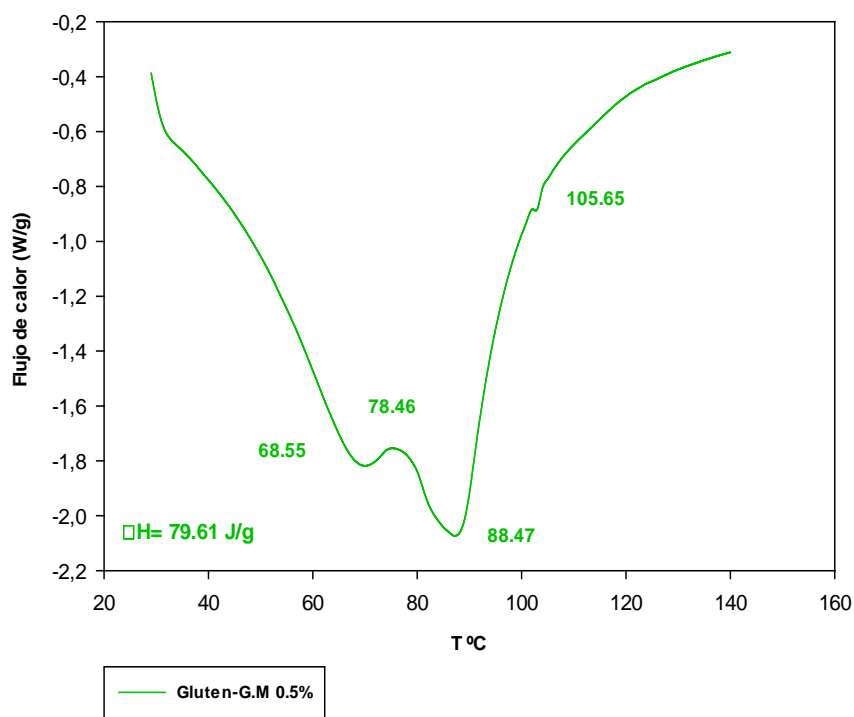
La tabla 16 nos indica que la adición de goma de mezquite al momento de la cocción tiene un incremento volumétrico de 50.425 cm³, menor a la interacción proteína-proteína que se debe a la estructura propia del polisacárido que esta interactuando, sin embargo presenta una menor pérdida de peso y decremento volumétrico respecto al pan blanco en el transcurso de una semana.

5.2.2 Nivel de variación 2. Interacción de gluten- goma de mezquite al 0.5%.

Se realizo la determinación de la desnaturalización de proteína y TGA a la concentración de goma de mezquite indicada.

El termograma, representado en la gráfica 17, presenta dos picos endotérmicos lo cual indica que la red conformada por el gluten de trigo están interactuando de manera separada con la estructura molecular tan compleja de la goma de mezquite, esto es por el impedimento estérico por la conformación molecular de la goma de mezquite en el espacio como de la concentración de la goma en el sistema (0.5%) , se crean sitios activos en los enlaces disulfuro presentes , iónicos por la presencia electrolítica y de carácter hidrófobo por la cadena lateral de polisacáridos , el primer evento térmico tiene un punto crítico a la temperatura de 68.55°C , el segundo pico más significativo comienza a la temperatura de 78.46°C tiene un punto crítico de 88.47°C y finaliza a la temperatura de 105.65°C , los dos picos endotérmicos presentes ocurren a una temperatura menor a la desnaturalización nativa del gluten de trigo por lo que la goma le confiere a la nueva estructura que los eventos térmicos ocurran a temperaturas menores que las del gluten de trigo, la energía que se intercambia entre el medio y el evento de formación de nuevos compuestos es de 79.61 J/g. ^{(20) (33)}

Gráfica 17. Termograma de la interacción gluten- goma de mezquite al 0.5%.



La interacción gluten- goma de mezquite se efectuó de manera asociativa donde se generó una coacervación compleja entre la distribución de cargas de la gliadina, glutenina y la goma de mezquite, el pH en la mezcla correspondiente a dicha concentración fue de 6.44 a 19.33 °C, al tener un pH cercano al punto isoeléctrico se dedujo que se formó un complejo electrostático interactuando las cargas negativas de los carbohidratos presentes en la goma de mezquite con las cargas positivas de la gliadina y glutenina, la parte proteica de la goma de mezquite interactuó por enlaces disulfuro con la red conformada por el gluten, así como la parte electrolítica le confirió al producto la formación de una red cristalina en conjunción con el gluten debido a la carga iónica que le otorga la presencia de electrólitos al sistema. La representación del impedimento estérico por la conformación espacial de los carbohidratos hidrofílicos correspondientes a la goma de mezquite y los diferentes enlaces participantes en dicha interacción se muestra en la figura 20.

(4)(20)(33)(48)

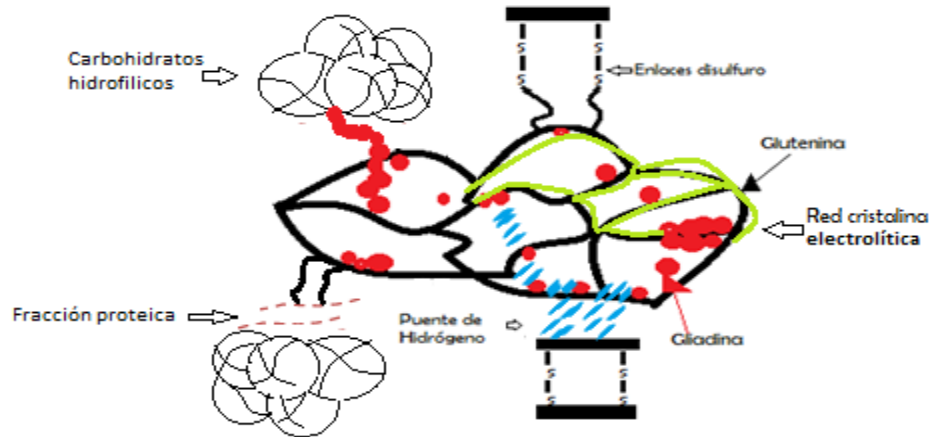
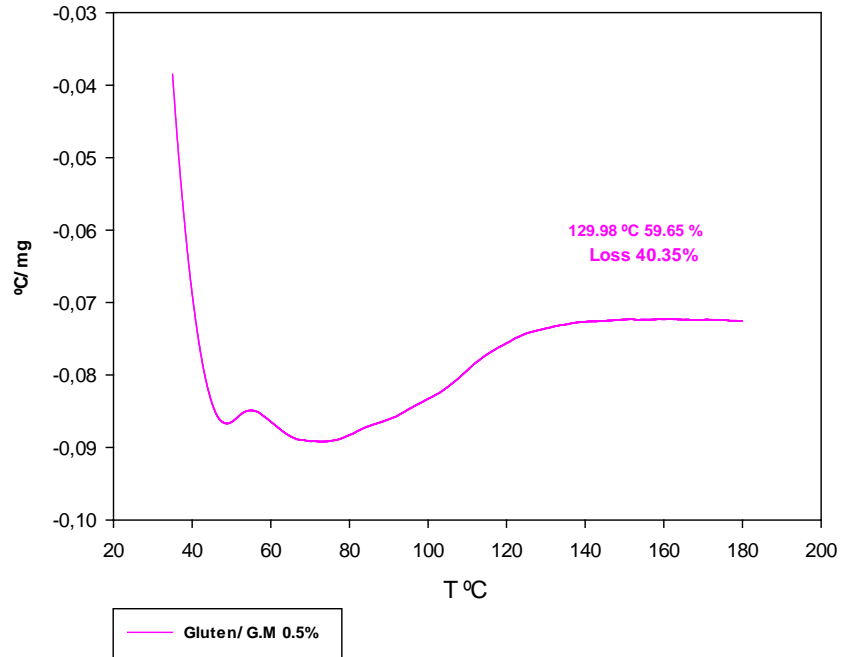


Figura 20. Modelo de interacción gluten/ goma de mezquite 0.5%.

En el análisis de TGA, representado en la gráfica 18, se determinó que al finalizar el proceso a 129.99°C se conservó un 59.65% de la masa inicial y se obtuvo una pérdida del 40.35% de componentes volátiles, lo que hace relevante el uso de este polisacárido ya que su red conformacional registró una menor pérdida de agua que el gluten a las mismas condiciones de operación.⁽³⁰⁾

Gráfica 18. Estudio termogravimétrico del sistema gluten- goma de mezquite al 0.5%.



Al adicionar esta concentración a la formulación se obtuvo un pan con poros diminutos y de masa más compacta esto fue debido al impedimento estérico causado por la estructura espacial de la goma de mezquite en el sistema, se generó una menor presión de vapor dentro de la masa lo cual provocó que la retención de aire en el proceso de cocción en el interior del pan fuera de una

estructura diferente dando por resultado un pan mas esponjoso pero menos poroso, como lo muestran las imágenes de pan de la figura 21. ⁽⁵⁶⁾

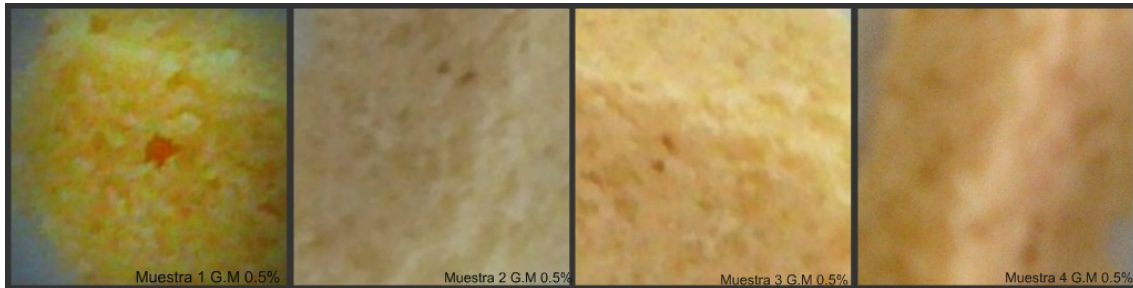
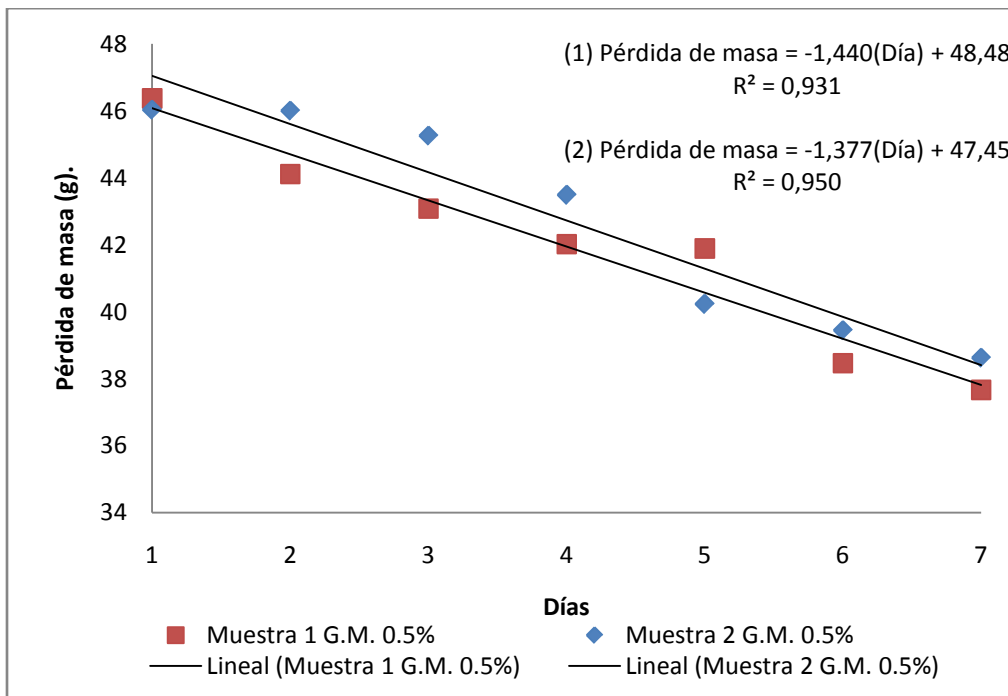


Figura 21. Tamaño de poro del pan obtenido en la interacción gluten-goma de mezquite al 0.5%.

Se realizó el análisis de pérdida de masa, expresada por la gráfica 19, para determinar el decremento en peso y volumen en un periodo de 7 días, se registraron valores en vida de anaquel correspondientes a la tabla 15. Se observa mediante una regresión lineal que la velocidad de pérdida de masa es a razón de 1.440 a 1.377 g/ día con una exactitud del 93.1 al 95.0% de los datos experimentales, se observa que hay menor pérdida de masa que el gluten y al incremento de concentración también le confiere que durante la vida de anaquel el producto conserve mayor masa.

Gráfica 19. Pérdida de masa de la interacción pan- goma de mezquite al 0.5%.



La tabla 17 correspondiente al control de volumen y masa nos indica que del día 3 al 7 el pan no experimentó cambio en volumen, pero si en peso, esto se debe a la estructura de la red que generó una mayor retención de aire en el interior y no así de humedad lo que se puede establecer que al usar goma de mezquite tiene un incremento volumétrico en la vida útil del pan, pero los componentes volátiles y agua en su interior si se pierden conforme los días de anaquel del pan, así mismo el incremento volumétrico de la masa cruda a la masa cocida es de 55.313 cm³.

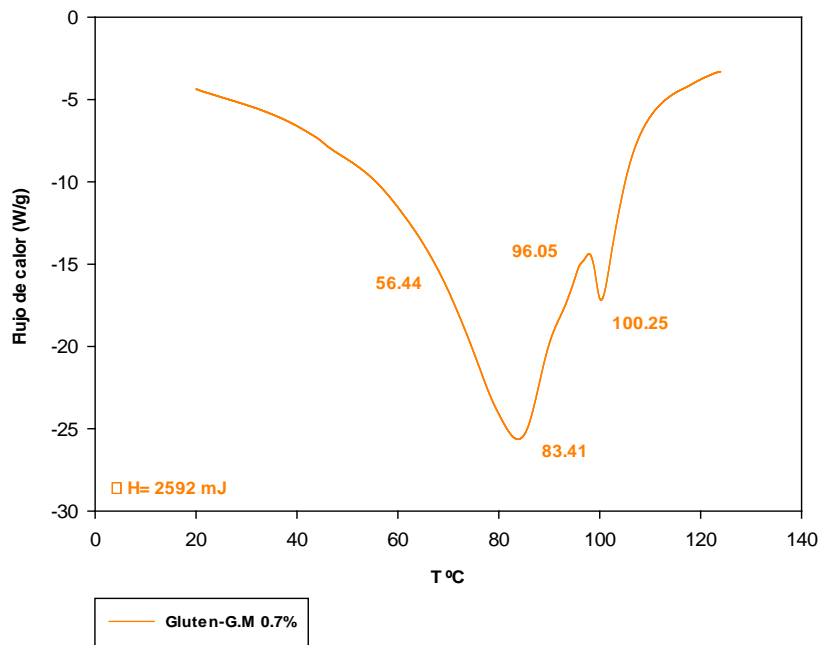
Tabla 17. Propiedades de pan con goma de mezquite al 0.5%

No de Muestra :6	Volumen inicial de masa panificable. 216.562 cm ³ Humedad de la mezcla: 56.65%		
Tipo de Pan: G.Mezquite 0.5%	Masa antes cocción (g)	Masa final(g)	Decremento volumétrico.(cm ³)
Día 1	272.583	236.741	271.875
Día 3	272.583	218.569	268.741
Día 7	272.583	209.428	268.741

5.2.3. Nivel de variación 3. Interacción de gluten- goma de mezquite al 0.7%.

En el análisis calorimétrico, expresado por la gráfica 20, se evaluó que a una concentración mayor a 0.5% de goma de mezquite los componentes interactuaron para formar un solo compuesto con un evento secundario que se mostro en los picos endotérmicos cuyo principal evento ocurrió a una temperatura critica de 83.41°C , comenzando a 56.44°C y culmino a la temperatura de 96.05°C, el segundo evento ocurre a una temperatura de 100.25 que es muy aproximado a la temperatura de desnaturalización del gluten en su estado nativo, por lo que puede indicar que parte de las moléculas del gluten a dicha concentración no presentaron las suficientes colisiones moleculares para que interactuaran entre sí y por impedimento estérico al utilizar una concentración elevada no encuentran sitios activos para que puedan unirse las diversas fracciones que conforman la goma de mezquite.^{(20) (40)}

Gráfica 20. Termograma de la interacción gluten- goma de mezquite al 0.7%.



Se presentaron enlaces por fuerza iónica y puentes de hidrogeno en el interior del sistema, al haber una saturación en la concentración de goma de mezquite en la formulación generó que las moléculas de carbohidratos hidrofílicos y porciones de la fracción proteica se aglomeraran y solo interactuara con la red proteica del gluten una porción mínima de la goma de mezquite quedando una porción de red de gluten libre, la que fue causal segundo pico de desnaturalización, teniendo una conformación espacial como lo muestra la figura 22.^{(20) (48) (50)}

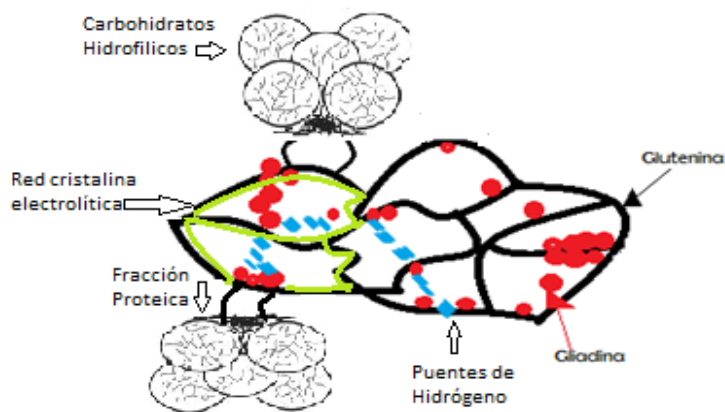
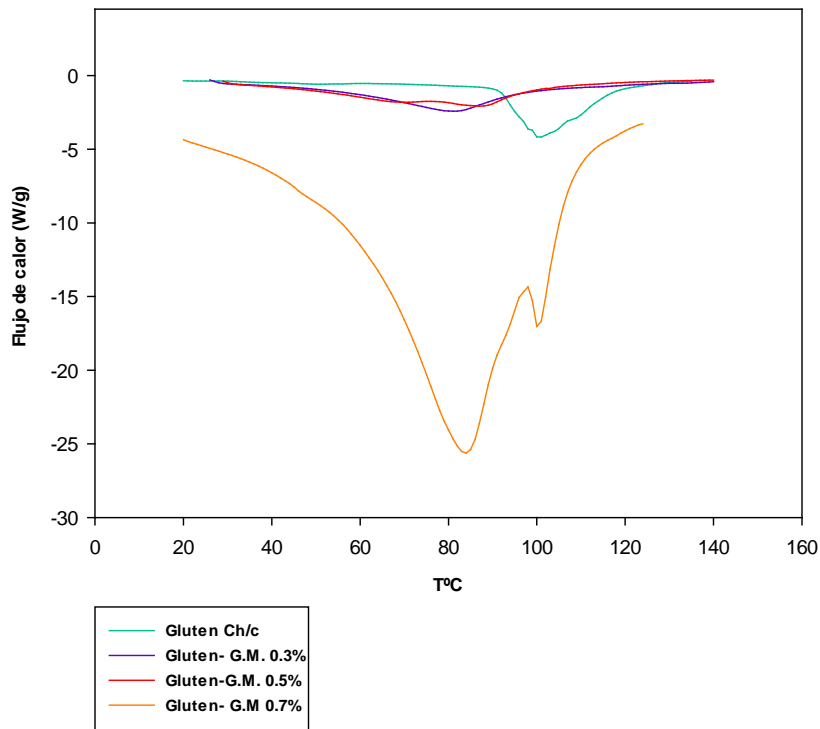


Figura 22. Modelo de interacción gluten- goma de mezquite 0.7%.

Se realizó el análisis comparativo, correspondiente a la gráfica 21, de los diferentes termogramas a las 3 concentraciones propuestas de goma de mezquite en relación al gluten, se observó que la curva que necesita de mayor flujo de calor para que se lleve a cabo el evento térmico es la concentración del 0.7% del polisacárido lo que indicó que es más estable a un tratamiento térmico donde implique mayor adición de temperatura al sistema, mientras que las dos concentraciones anteriores muestran que su punto de desnaturalización se desplazó a una temperatura menor a la del gluten en estado nativo, sin embargo entre 0.3 y 0.5% existió una similitud en el comportamiento de desnaturalización del compuesto formado en cuanto a resistencia al tratamiento térmico debido a los puntos expuestos con anterioridad en los termogramas independientes de cada nivel de variación a causa de los enlaces participantes en la interacción gluten-goma de mezquite.

Gráfica 21. Termograma comparativo de las interacciones gluten- goma de mezquite al 0.3, 0.5 y 0.7%.



La energía de activación obtenida mediante el método de Kissinger (Anexo2. Pág. XV, XVI. Gráfica.56, 57,58) de la interacción gluten – goma de mezquite cuyos resultados se encuentran expresados en la tabla 18, demostró que se presentó un decremento en requerimiento energético respecto al pan testigo, al disminuir la energía de activación en el sistema, implica que se tratan de reacciones complejas que incluyen la formación de un intermediario que presenta enlaces débiles que por las interacciones presentes se trata de un complejo de Van der Waals o por fuerzas electrostáticas obtenido antes del producto final.^{(16) (33)}

La concentración al 0.7% de goma de mezquite genera en el pan poros de mayor amplitud, como se expresa en la figura 23 correspondiente a la imagen de la porosidad de pan, esto se debe que al aglomerarse los componentes de la goma de mezquite genera mayor espacio para la retención de aire en el interior del pan, así como mayor presión de vapor al proceso de la cocción lo que da por resultado una estructura con poros más pronunciados y una estructura menos esponjosa que a la concentración del 0.5%. ^{(4) (56)}

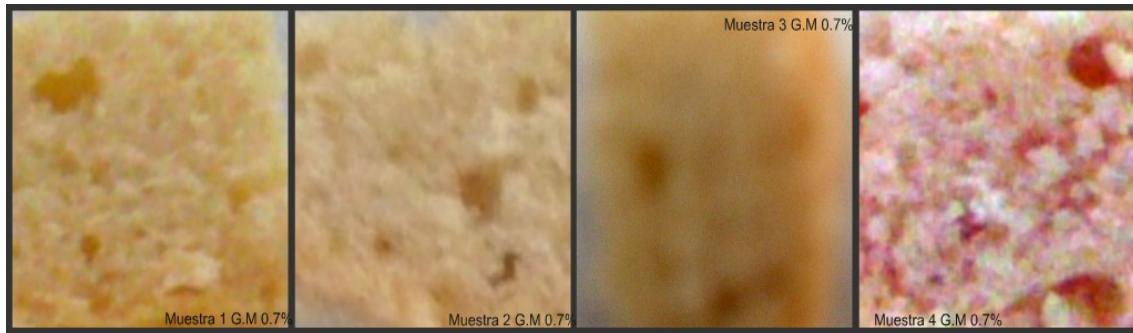


Figura 23. Tamaño de poro del pan obtenido en la interacción gluten-goma de mezquite al 0.7%.

La figura 24 muestra las diferencias obtenidas al manipular las concentraciones establecidas en la formulación, viendo que cada una de ella le confiere un tipo de estructura diferente al producto terminado, en cuanto a aspectos físicos visibles al consumidor.

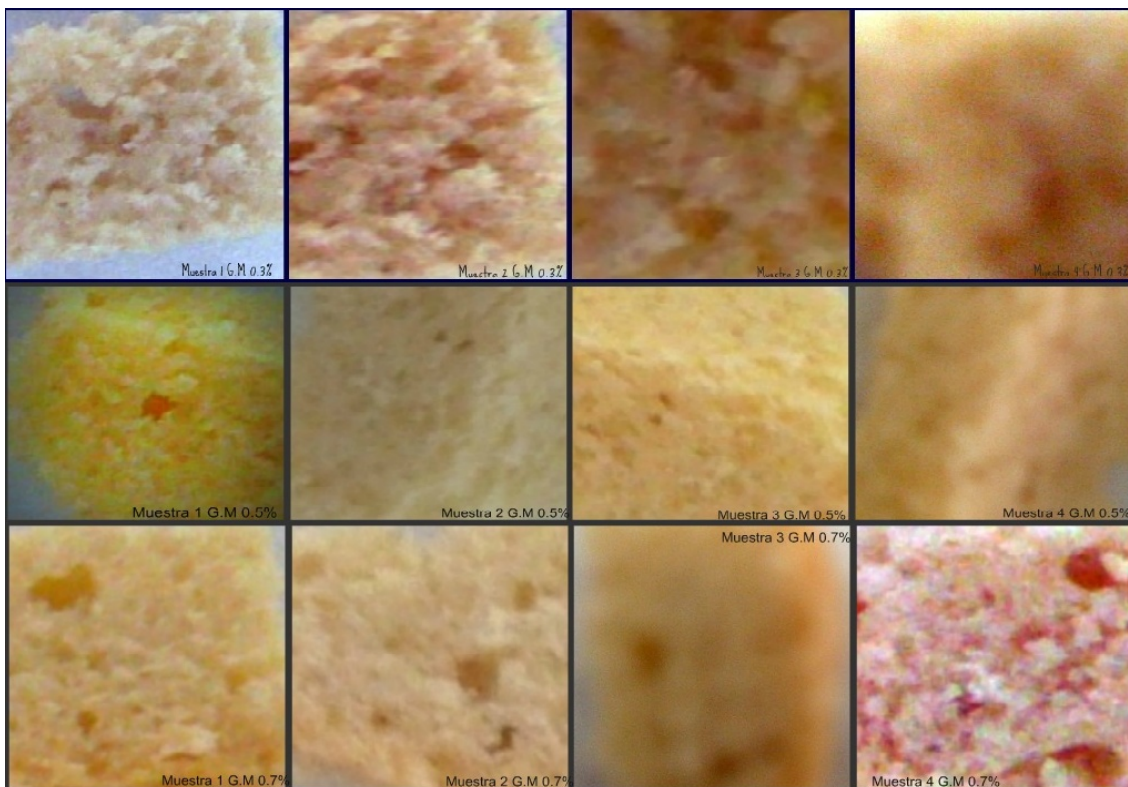
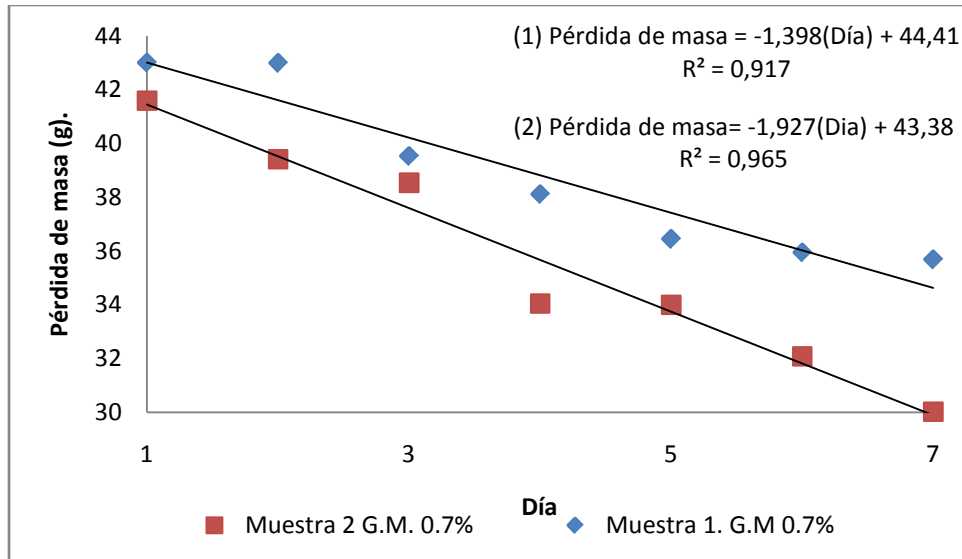


Figura 24. Tamaño de poro del pan obtenido en la interacción gluten-goma de mezquite al 0.3, 0.5 y 0.7%.

Se realizó la relación de pérdida de masa, expresada en la gráfica 23, en relación a dos muestras de pan con 0.7% de goma de mezquite, así mismo se llevo una tabulación patrón que mostrara el decremento en volumen y peso de una muestra de pan elaboradas a las mismas condiciones del proceso. Mediante la regresión lineal se observo que a estas condiciones hay un decremento en peso que involucra materiales volátiles que están constituidos en menor proporción así como perdida de agua de 1.927 a 1.398 g/día con un intervalo de confianza del 91.7 al 96.5% de los datos experimentales.

Gráfica 23. Pérdida de masa de la interacción de pan con goma de mezquite al 0.7%.



En cuanto a la elaboración de pan se observó mediante la tabla 19 que se presentó un aumento volumétrico de la masa sin cocción al pan de 58.468 cm^3 la cual confiere el aumento volumétrico debido a la estructura y concentración de goma de mezquite presente en el sistema, como a las propiedades de la red del nuevo compuesto que se formó, el decremento volumétrico en anaquel después de 7 días fue de 1.157 cm^3 lo cual implica que al adicionarle la goma a la concentración de 0.7% esta estructura le confirió estabilidad al volumen obtenido de la cocción de la masa de panificación.

Tabla 19. Propiedades del pan con goma de mezquite al 0.7%.

No de Muestra :7	Volumen inicial de la masa panificable. 216.562 cm ³ Humedad de la mezcla: 56.65%		
Tipo de Pan: G.Mezquite 0.7%	Masa antes cocción (g)	Masa final(g)	Decremento volumétrico.(cm ³)
Día 1	268.62	235.28	275.03
Día 3	268.62	223.102	274.452
Día 7	268.62	210.49	273.873

El análisis de perfil de textura se realizó en las tres partes del pan (lado superior, punto medio y lado inferior) para determinar los parámetros de interés (dureza y fracturabilidad) mencionados en la interacción gluten-goma de mezquite. ⁽⁴⁰⁾

Gráfica 24. Prueba de textura de la interacción pan- goma de mezquite (lado superior).

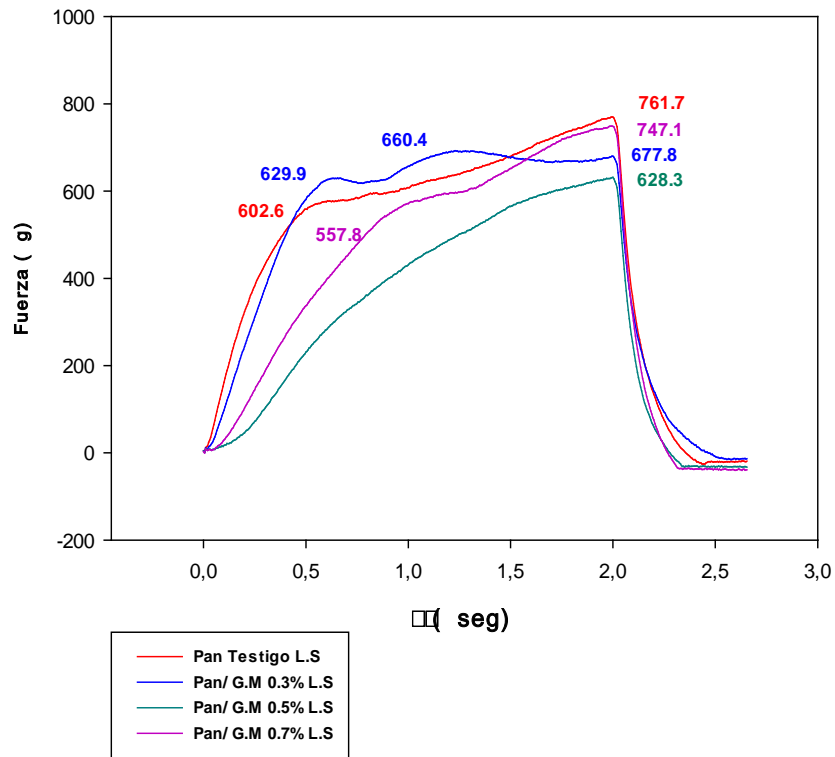


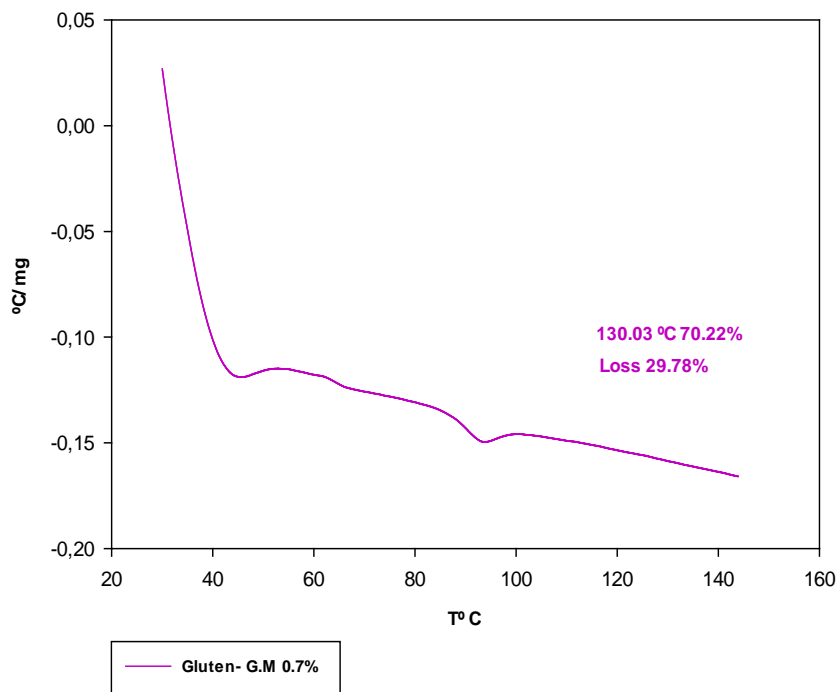
Tabla 18. Energía de activación de la interacción gluten- goma de mezquite al 0.3, 0.5 y 0.7%.

□Goma de mezquite□ %	Energía de Activación (J/mol)	Coefficiente de Correlación %
Gluten	373.6	99.9
0.3	349.1	99.9
0.5	361.4	99.9
0.7	379.0	100

Referente al aumento de concentración de goma de mezquite en el sistema aumentó el requerimiento de energía de activación para la formación de los enlaces correspondientes a la interacción, esto se justifica debido a que la estructura conformacional de la goma de mezquite presenta un impedimento estérico por lo que al incrementar la concentración su influencia es directamente proporcional a la cantidad de energía requerida para el inicio de cada evento térmico.^{(10) (33)}

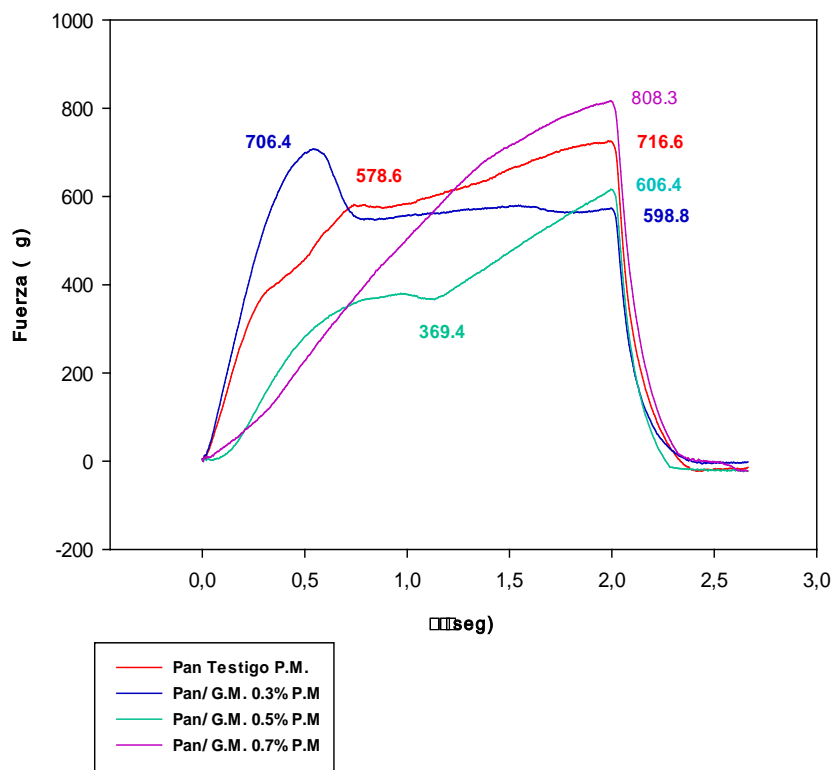
En el análisis termogravimétrico, que indica la gráfica 22, se determinó que al someter a condiciones de altas temperaturas la mezcla de gluten con goma de mezquite perdió solo el 29.78 de componentes volátiles y agua, lo que le confiere la característica mediante la adición de dicha goma por su propiedad electrolítica y puentes de hidrógeno con mayor estabilidad se incrementa la captación de agua en la red que conforma el nuevo compuesto.^{(10) (20) (30)}

Gráfica 22. Estudio termogravimétrico del sistema gluten- goma de mezquite al 0.7%.



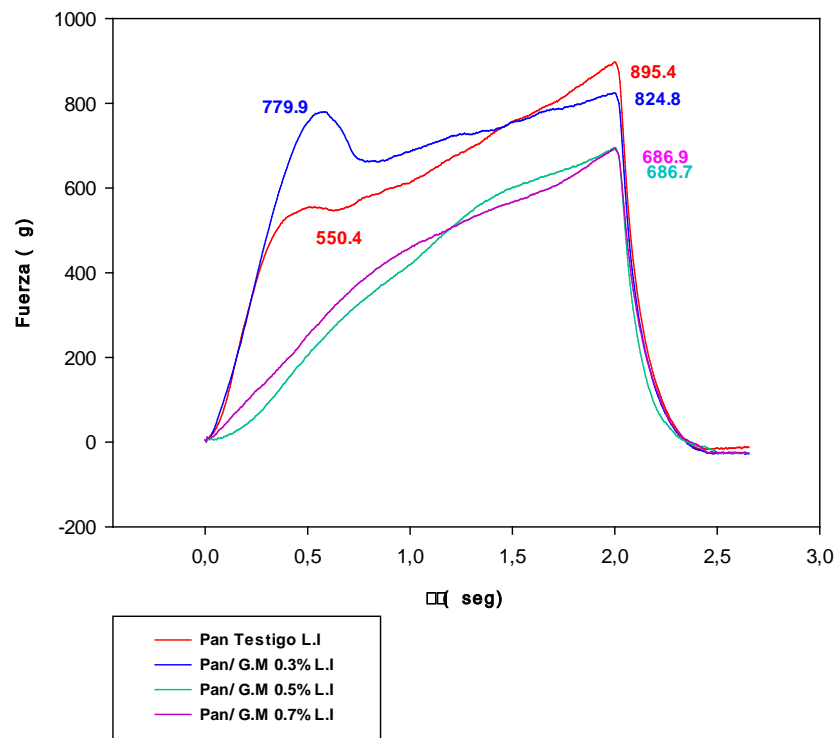
La goma de mezquite por sus propiedades electrolíticas y anfotericas le confirió a la interacción gluten- goma de mezquite a la concentración del 0.5 % una menor dureza en la parte superior del pan, así mismo no presentó punto de fracturabilidad, a la concentración del 0.3% obtuvo un punto de fracturabilidad de 629.9 g/s recuperándose la estructura y presentando un punto de fracturabilidad posterior en 660.4 g/s y una dureza de 677.8 g/s , mayor a la concentración del 0.5%, como se indica en la gráfica 24, esto se debe a que al adicionarle una menor concentración de goma de mezquite la interacción entre la parte de polisacáridos que confiere a la goma de mezquite con el gluten presentó una menor debilidad en los enlaces de puentes de hidrogeno y los enlaces glicosidicos entre polisacárido- proteína , lo que provocó que la red presentara menor capacidad de retención de agua lo que en consecuencia conlleva que la dureza en el pan sea mayor a una interacción de menor concentración, al utilizar una concentración del 0.7% se observa que al haber una mayor concentración de goma de mezquite en el sistema este tiene una fracturabilidad menor comparada a la concentración del 0.5% y el pan testigo, en cuanto a dureza el pan testigo presentó un mayor valor a los parámetros resultantes al utilizar concentración del 05% y el 0.3% en el sistema, en la parte superior del sistema alimenticio se estableció que al adicionarle goma de mezquite en las 3 concentraciones establecidas presentó un decremento en la dureza del pan. ⁽⁷⁾⁽²⁰⁾⁽²⁷⁾⁽⁴⁰⁾⁽⁴⁸⁾

Gráfica 25. Prueba de textura de la interacción pan- goma de mezquite (punto medio).



En el punto medio de la interacción de gluten- goma de mezquite, cuyos parámetros texturales se indican en la gráfica 25, se analiza que se obtuvo una menor dureza a aplicar a la formulación la concentración del 0.3% de goma de mezquite en el sistema con un valor de 598.8 g/s, sin embargo a dicha concentración se tiene una fracturabilidad en el sistema mayor que las diferentes concentraciones utilizadas, lo que indica que el pan es muy blando pero su estructura es muy frágil, al utilizar la concentración de 0.5% dio resultado una dureza menor a la utilizada a la concentración máxima del 0.7% y al pan testigo, también se obtuvo un punto de fracturabilidad menor a las concentraciones del 0.3, 0.7 % y el pan testigo, al utilizar una concentración del 0.7% el sistema alimenticio presentó una dureza mayor a la del pan testigo y las concentraciones de menor proporción en el sistema, así mismo no se dio un punto de fracturabilidad, al utilizar una mayor concentración de goma de mezquite se dedujo que aumenta la dureza en el pan esto se debe a que al incrementar la concentración de la goma en el punto intermedio ocurre un impedimento estérico que no permite la correcta adhesión para formar la red, este efecto se limita a concentraciones superiores del 0.7%, teniendo como concentración crítica la del 0.5% que le confirió al pan una mejor suavidad y humedad.⁽⁷⁾⁽²⁰⁾⁽²⁷⁾⁽⁴⁰⁾

Gráfica 26. Prueba de textura de la interacción pan/ goma de mezquite (lado inferior).



En la parte inferior del sistema alimenticio, cuyos parámetros texturales son expresados en la gráfica 26, se determinó que la interacción entre el gluten- goma de mezquite para conferirle a la red características de suavidad y humedad es proporcional a la concentración de goma de mezquite en el sistema, al adicionarle a la formulación el 0.3% de goma de mezquite disminuyó la dureza en relación al pan testigo pero la fracturabilidad aumentó ya que la goma le confiere una textura arenosa al sistema lo que causa que el pan sea más fracturable, entre las concentraciones

del 0.5 y 0.7 % disminuyo la dureza en relación al pan testigo , teniendo una diferencia puntual entre estas dos concentraciones de 0.29 g/s, se consideró que la concentración critica para disminuir la dureza en el pan es del 0.5% en la formulación.

La goma de mezquite presenta diversas propiedades entre ella la función de tener una fracción electrolítica, la cual causa la disociación de polímeros en este caso el gluten que pertenece a un biopolímero proteínico y al ser un electrólito seco tiene poder gelificante en una estructura molecular cristalina y flexible, la concentración critica que se presenta en el sistema para conferir suavidad y humedad es del 0.5 % en la formulación. En la parte superior al utilizar esta concentración le confirió una menor dureza en la costra de pan y al realizar el análisis textural no presento fracturabilidad, en la parte media presento menor dureza la concentración del 0.3%, pero una fracturabilidad muy alta lo que hace que sea un pan con estructura muy frágil, respecto a la concentración del 0.5% tiene una diferencia en valor de dureza de 7.6 g/s esta le confirió al sistema un decremento en dureza así como una fracturabilidad menor, en la parte inferior la concentración del 0.5% es la que presentó una menor dureza.

Por lo anterior la concentración critica en el sistema de interacción gluten- goma de mezquite fue la de 0.5% para lograr un pan con una estructura en la red formada por dicha interacción capaz de retener mayor humedad dentro de este sistema disperso y una mejor suavidad proporcionándole al pan mejores características texturales. ⁽⁷⁾⁽²⁰⁾⁽²⁷⁾⁽⁴⁰⁾⁽⁴⁸⁾

5.3. Resultados obtenidos para la resolución del objetivo particular 3

5.3.1. Nivel de variación 1 Interacción gluten- lecitina al 0.3%.

Al mostrar la lecitina un lado polar y no polar puede interactuar de manera directa o indirecta con las proteínas de trigo ya que va a existir una predisposición por las proteínas del huevo esto se analizó mediante los cambios termodinámicos que se presenten en el análisis calorimétrico. ⁽⁴⁶⁾

Ya que la lecitina de soya tuvo mayor afinidad con las proteínas de la yema de huevo el análisis calorimétrico, TGA y energía de activación se realizaron a referencia de la desnaturalización del estado nativo de los componentes de la yema de huevo. ⁽⁴⁾⁽⁴⁶⁾

Se determinó la influencia de la adición de la lecitina de soya al 0.3% previamente disuelta con la yema de huevo aplicada en la formulación del pan. Los parámetros calorimétricos expresados en la gráfica 27 expresaron que la temperatura máxima en el evento de desnaturalización ocurre a 85.3 °C, teniendo una similitud con la temperatura de desnaturalización de la yema de huevo en su estado nativo (anexo 1. pág.XII. Gráfica 51) culminando el evento térmico a la temperatura de 100°C, en el sistema alimenticio se deduce que la lecitina de soya interactúa directamente con las proteínas de la yema de huevo por la afinidad ente ambos componentes e interactúa a nivel de superficie con el gluten de trigo mediante los grupos apolares de los fosfolípidos presentes en el sistema, dominando las fuerzas hidrófobas y de Van der Waals e interactuando con las proteínas extrínsecas de la red de gluten de trigo mediante enlaces iónicos por las fracciones de aminoácidos y fosfolípidos de las cadenas de las proteínas del gluten de trigo y lecitina de soya, la

interacción gluten-lecitina fungió en la parte superior del sistema como protector de membrana y humectante como lo muestra la figura 25.⁽²³⁾⁽⁴⁶⁾

Gráfica 27. Termograma de la interacción yema de huevo- lecitina al 0.3%.

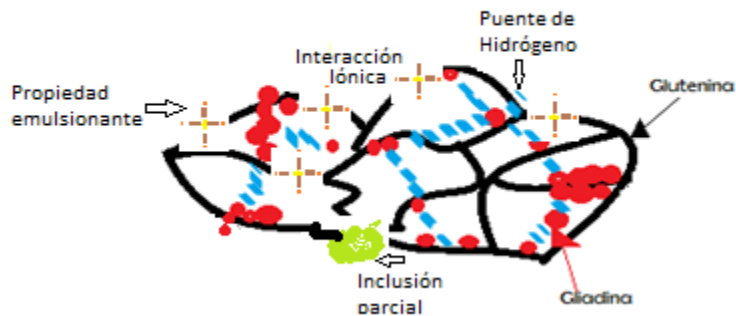
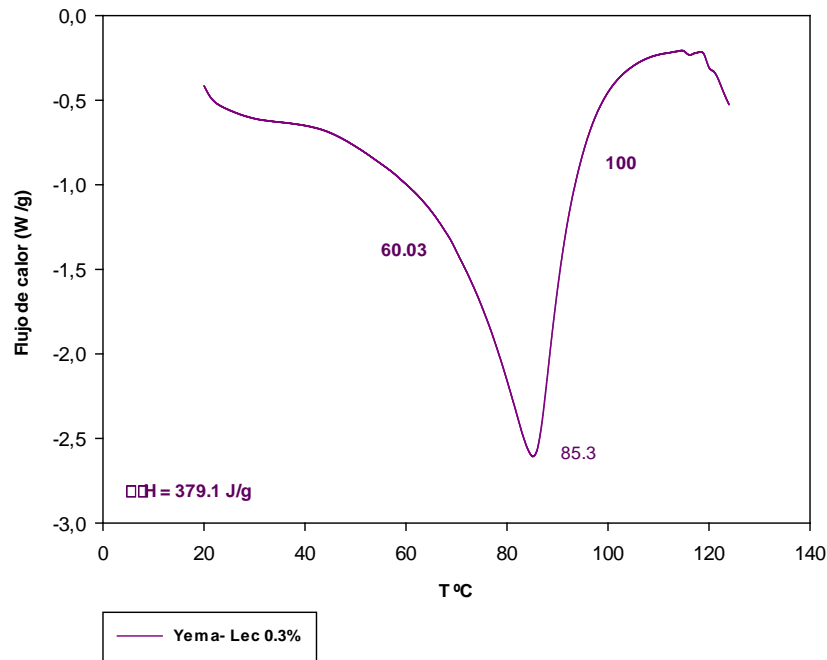
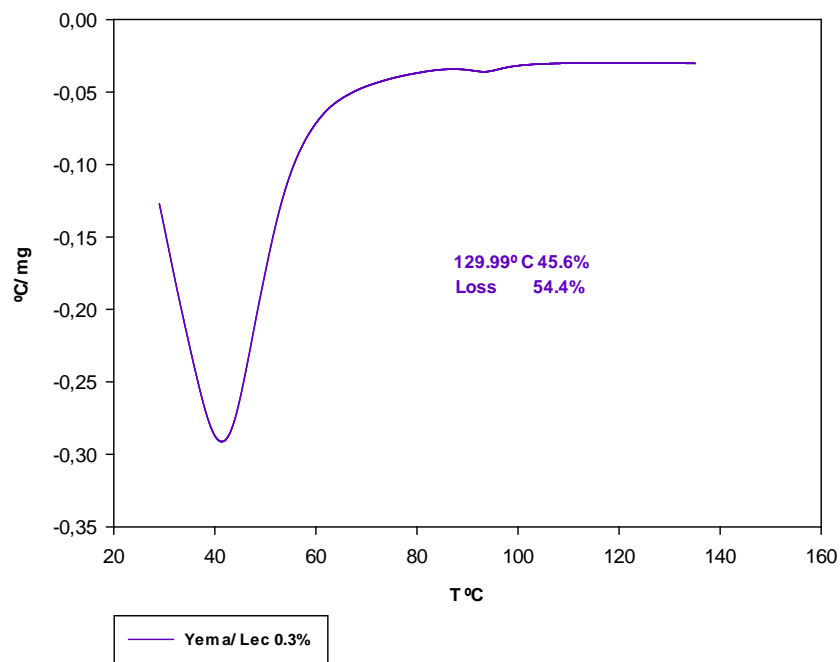


Figura 25. Modelo de interacción gluten/ lecitina 0.3%.

La energía de los enlaces conformados en el sistema fue de 379.1 J/g, la cual al compararla con la energía de los enlaces formados en la desnaturalización de la yema de huevo en estado nativo tuvo un incremento de 30.2 J/g, esto fue por la concentración de lecitina adicionada al sistema, por la característica que le confiere de aislante térmico el adicionar mayor energía para que el proceso de desnaturalización de la interacción proteína- tensoactivo.⁽⁴⁾⁽³³⁾⁽⁵¹⁾⁽⁴⁴⁾

Al someter al sistema al estudio de TGA, cuyos resultados se expresan en la gráfica 28, se expresa que se volatilizo el 54.4% de la masa inicial lo cual indicó que se obtuvo una mayor pérdida de elementos volátiles al adicionarle lecitina al 0.3% que en su estado nativo de la yema de huevo, en lo cual influyen las características de la materia prima correspondiente a la yema de huevo, el contenido de agua y concentración de fosfolípidos correspondientes a la yema de huevo. ⁽³⁰⁾⁽⁴⁴⁾

Gráfica 28. Estudio termogravimétrico del sistema yema de huevo- lecitina al 0.3%.



La presencia de lecitina de soya en el pan a la concentración del 0.3% generó poros de mayor visibilidad que la estructura conformada por la goma de mezquite, pero de menor tamaño referente a la estructura proteína- proteína, la permeabilidad que le confirió el tensoactivo en la superficie del sistema fue selectiva por lo cual pequeñas moléculas sin carga como el CO₂ que en el sistema es el causante de crear los espacios volumétricos de aire en el interior de la espuma semisólida que en conjunto con la presión de vapor del proceso de cocción del producto panificable son los causantes de la estructura de porosidad del mismo, las imágenes de las características de los poros presentados se esquematizan en la imágenes correspondientes a la figura 26. ⁽³²⁾⁽⁵⁶⁾

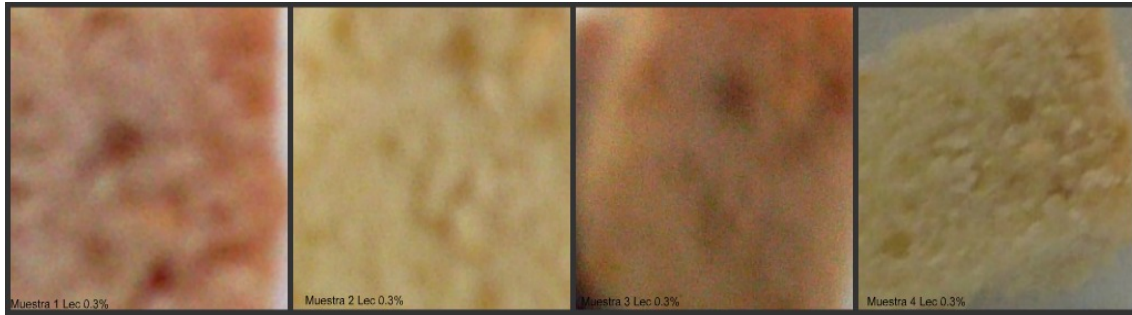
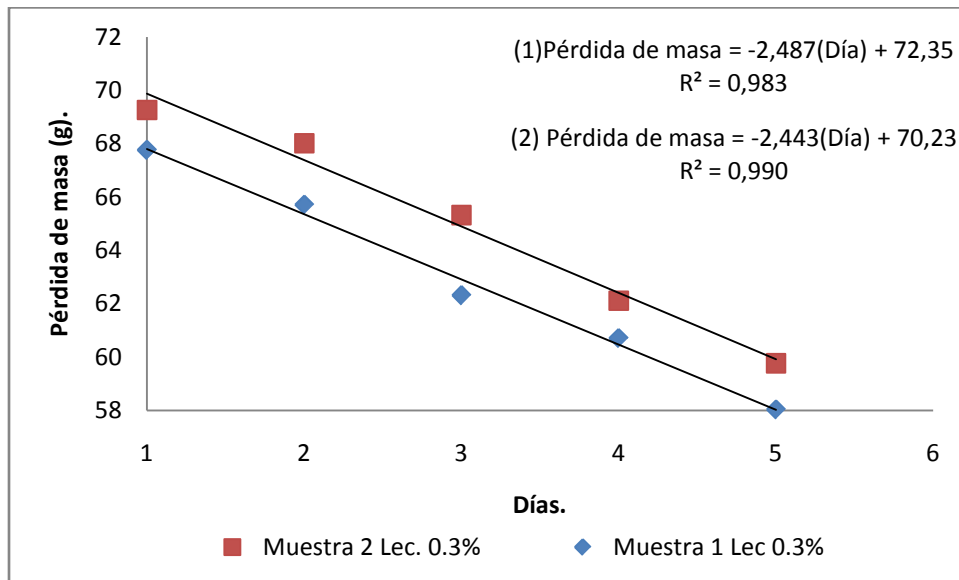


Figura 26. Tamaño de poro del pan obtenido en la interacción gluten-lectina al 0.3%.

La lecitina de soya se solubilizo en la yema de huevo utilizada en la formulación de pan, posteriormente se determino la cuantificación de la velocidad de pérdida de masa en un periodo de 6 días con dos muestras de pan con 0.3% de lecitina y una patrón donde se evaluó el volumen de la masa antes y después de la panificación como el volumen de este y la pérdida en el transcurso de una semana.

La relación de pérdida de masa con el 0.3% de lecitina en la formulación, analizada mediante la gráfica 29, está comprendida entre 2.443g/día a 2.487g/día con una correlación entre los datos experimentales de un 98.3 al 99%, la ecuación obtenida señala el comportamiento de la pérdida de masa, siempre y cuando se esté perdiendo humedad y materiales volátiles.

Gráfica 29. Pérdida de masa de la interacción pan con lecitina al 0.3%.



Al adicionarle la lecitina de soya se observó, mediante los resultados expresados en la tabla 20, que el incremento volumétrico de la masa sin hornear al pan obtenido es de 46.65 cm^3 , así mismo al mantenerse en vida de anaquel pierde 5.405 cm^3 de volumen, respecto al peso debido a que la lecitina interactúa como humectante este no pierde de manera significativa peso en vida de anaquel. ^{(23) (34) (46)}

Tabla 20. Propiedades del pan con lecitina al 0.3%.

No de Muestra 8	Volumen inicial de la masa panificable. 236.8 cm ³ Humedad de la mezcla: 56.65%		
Tipo de Pan: Lecitina 0.3%	Masa antes cocción (g)	Masa final(g)	Decremento volumétrico.(cm ³)
Día 1	234.29	184.34	283.45
Día 3	234.29	178.559	281.63
Día 7	234.29	174.632	278.045

5.3.2. Nivel de variación 2 Interacción gluten- lecitina al 0.5%.

Al adicionarle una concentración del 0.5% de lecitina el complejo molecular de la interacción, los resultados de los parámetros calorimétricos expresados en la gráfica 30, mostraron un incremento de la temperatura máxima del evento crítico con un ΔT de desplazamiento de 5.12 °C, se formó un solo pico endotérmico lo que mostró la homogeneidad de mezclado en la masa panificable la cual es la ventaja que le confieren los emulsificantes al sistema con lo que se estableció que al mezclarse con el gluten de trigo le confirió las características antes mencionadas de semipermeabilidad contribuyendo a la humectación del pan.

Al aumentar la concentración de fosfolípidos al producto panificable la membrana conformada principalmente por la red de glutenina se enriqueció en la misma proporción de aumento de concentración en la formulación por que las colisiones moleculares incrementaron y con ello los sitios de interacción proteína- lecitina contribuyendo al aumento y fuerza de los enlaces iónicos, de Van der Waals e interacciones hidrófobas en el sistema como lo muestra la figura 27.

(23)(33)(48)(51)

Gráfica 30. Termograma de la interacción yema de huevo- lecitina 0.5%.

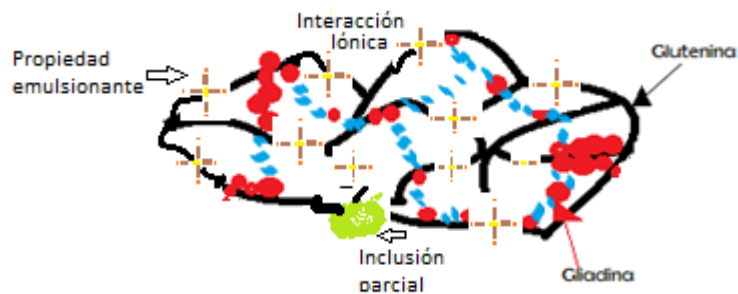
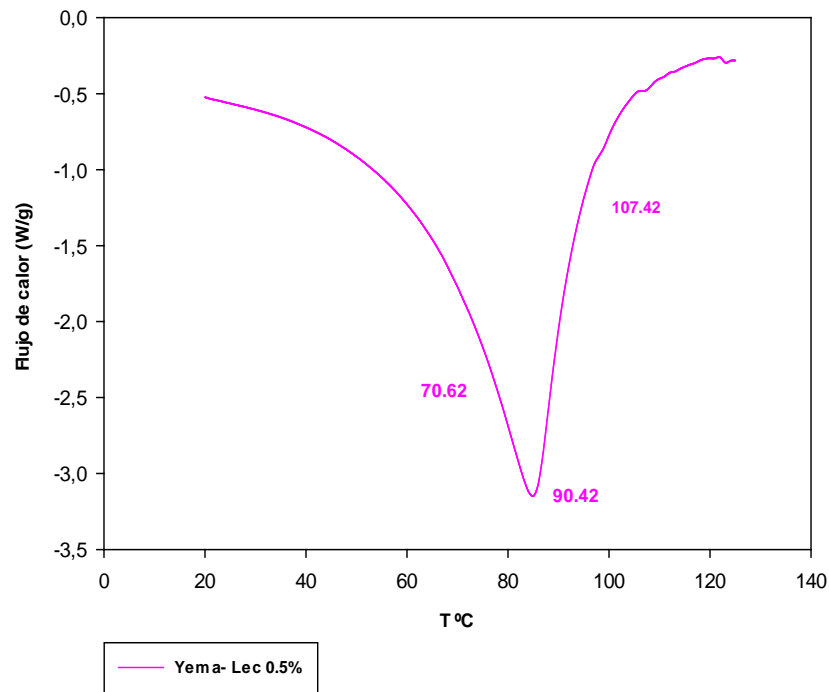
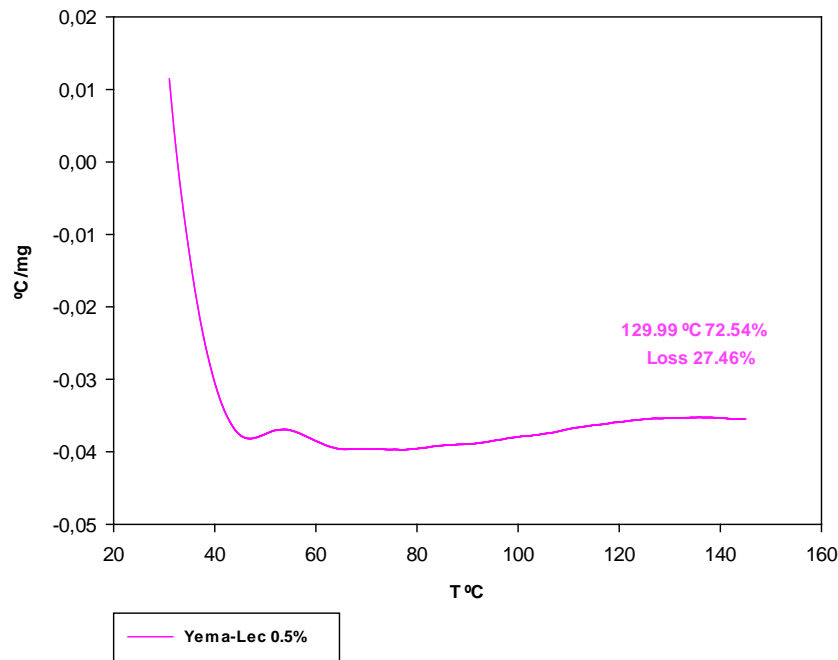


Figura 27. Modelo de interacción gluten- lecitina 0.5%.

El análisis de TGA, expresado en la gráfica 31, nos hace referencia que a someter a la mezcla de yema de huevo con lecitina al 0.5%, la masa que se conservó después del proceso de elaboración fue del 72.54% por lo que al adicionarle la lecitina, esta interactuó en la interface impidiendo la liberación de humedad al medio a dicha concentración en el proceso de calentamiento, lo cual indico que al usar un tensoactivo en el producto panificable a una concentración critica del proceso este le brinda características de retener humedad en el proceso de cocción del pan.⁽³⁰⁾⁽³³⁾⁽⁵⁴⁾

Gráfica 31. Estudio termogravimétrico del sistema yema de huevo- lecitina 0.5%.



La estructura que se formó al incrementar la concentración de lecitina en el sistema dio origen a poros de mayor volumen en el sistema, como se observa en las imágenes de la figura 28, esto fue porque al haber mayor cantidad de tensoactivo en la superficie generó que en el interior del pan se incrementara la presión de vapor en el proceso de cocción y las moléculas de CO₂ tuvieron un mayor espacio de aire dentro del pan. ⁽⁷⁾⁽⁴⁴⁾⁽⁵⁶⁾

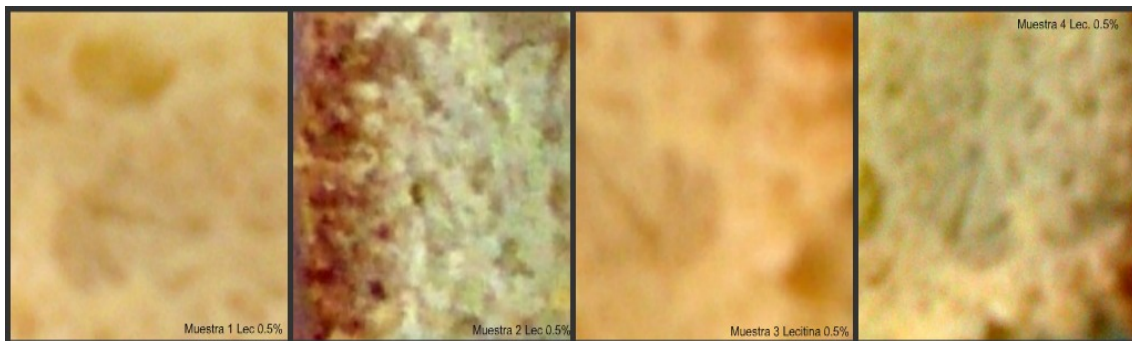
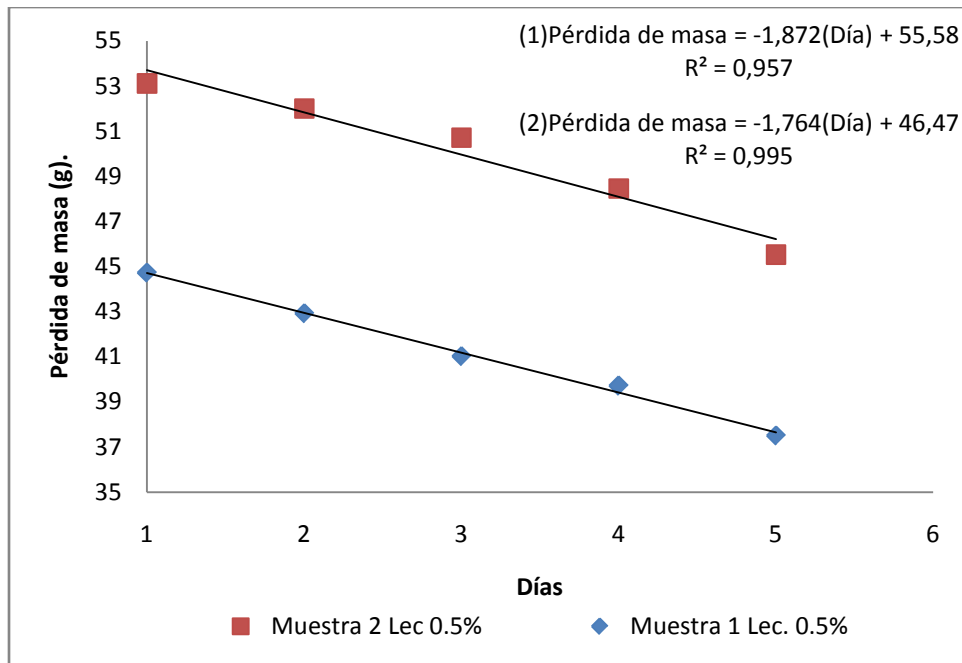


Figura 28. Tamaño de poro del pan obtenido en la interacción gluten-lecitina al 0.5%.

La velocidad de pérdida de masa cuantificada a partir de la regresión lineal expresada en la gráfica 32 indicó que la relación de pérdida de masa fue de un orden de 1.764 a 1.872 g/ día con una correlación del 95.7 al 99.5% de los datos experimentales, se observó que en el pan la lecitina le proporciona humectación y con ello la pérdida de masa en vida útil disminuyó al aumentar la concentración al 0.5%.

Gráfica 32. Pérdida de masa de la interacción de pan-lecitina 0.5%.



En la tabla 21 de control de volumen muestra que la masa sometida a cocción tiene un incremento volumétrico de 52.91 cm^3 y que al someterse a vida de anaquel el decremento de este es de 2.76 cm^3 , los dos factores de pérdida de masa y volumen en anaquel demostraron que al aumentar la concentración de lecitina se obtuvo un incremento en las propiedades masa- volumen del pan.

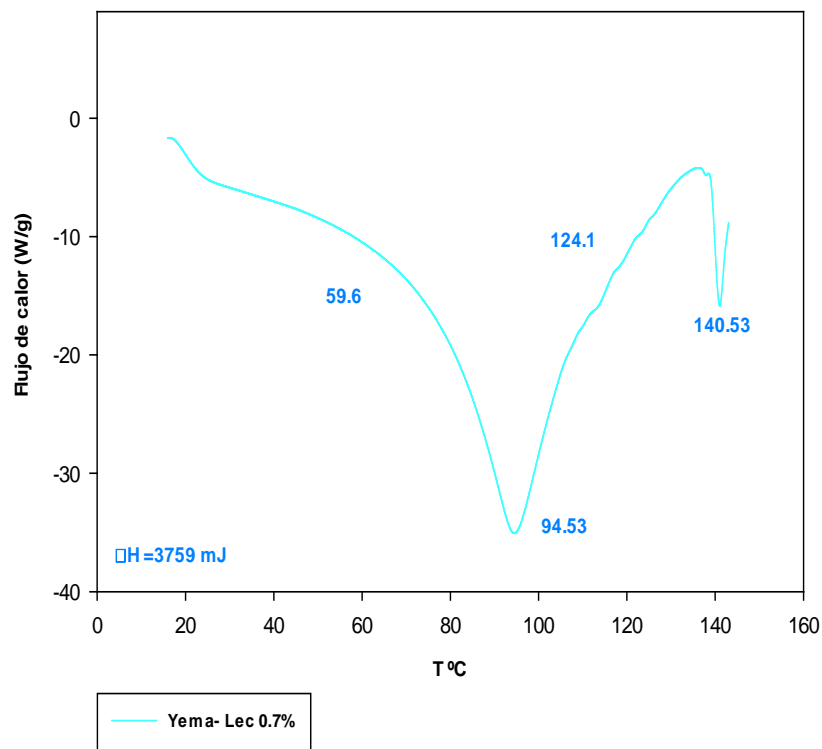
Tabla 21. Propiedades del pan con lecitina al 0.5%.

No de Muestra 9	Volumen inicial de la masa panificable. 221.49 cm^3 Humedad de la mezcla: 56.65%		
Tipo de Pan: Lecitina 0.5%	Masa antes cocción (g)	Masa final(g)	Decremento volumétrico.(cm^3)
Día 1	245.62	197.308	274.4
Día 3	245.62	192.56	272.62
Día 7	245.62	189.719	271.64

5.3.3. Nivel de variación 3 Interacción gluten- lecitina 0.7%.

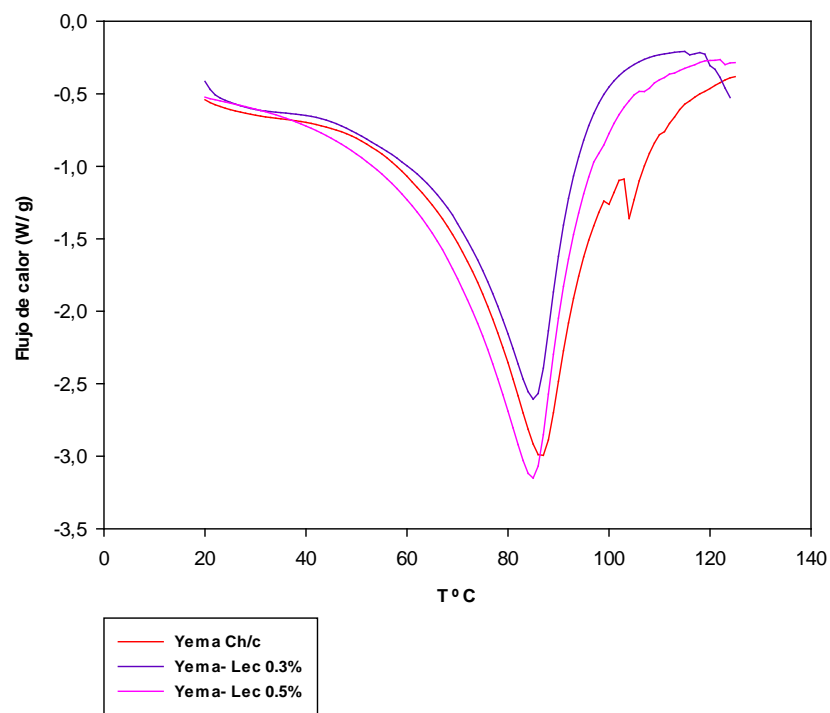
En el análisis de calorimetría, expresado en la gráfica 33, se observó que al incrementar la concentración de lecitina al 0.7% el proceso de desnaturalización de las proteínas de la yema de huevo tuvo lugar a una temperatura menor aproximadamente en 10°C, y el evento máximo del proceso térmico ocurrió a una temperatura mayor a la desnaturalización nativa de la yema de huevo, tuvo un ΔT de desplazamiento de 4.11°C en referencia a la concentración del 0.5%. Así mismo se presentó otro pico endotérmico a la temperatura de 140.53°C, lo que indica que al adicionarle dicha concentración de tensoactivo en el sistema se creó otro evento secundario a una temperatura mayor al rango establecido para su análisis que fue de (20 a 130°C), actuando de manera independiente con los componentes de la yema de huevo, creando un mayor impedimento estérico y con ello una mayor resistencia al calor de la masa panificable. ⁽²⁰⁾⁽⁴⁴⁾⁽⁴⁶⁾⁽⁵¹⁾

Gráfica 33. Termograma de la interacción yema - lecitina al 0.7%.

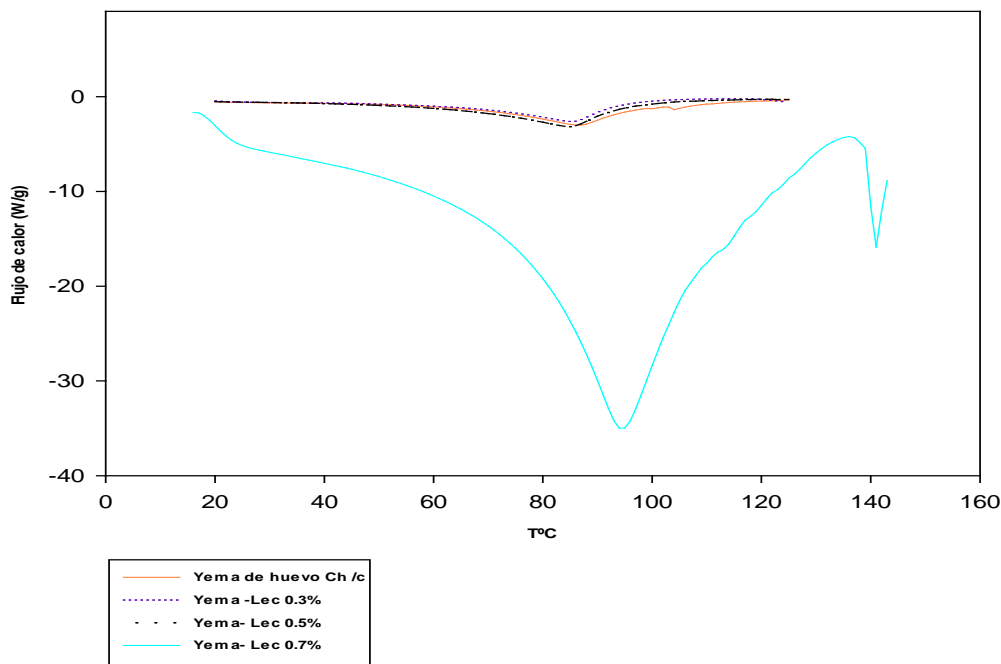


Al realizar el análisis comparativo de los eventos térmicos de la lecitina a diferentes temperaturas se observó que a concentraciones de 0.3 y 0.5%, correspondiente a la gráfica 34, el comportamiento de la curva que indica la formación del compuesto sigue la misma estructura, existiendo solo un desplazamiento de fase en la temperatura de inicio, temperatura máxima y temperatura final del evento térmico al igual que el flujo de calor que se requiere. Con la única diferencia que al adicionar lecitina a la formulación el pico secundario endotérmico desaparece por la capacidad de mezclado que le confiere la adición de lecitina al sistema, al utilizar la concentración de 0.7% se determinó que el flujo de calor que se requiere para que se lleve a cabo el proceso de desnaturalización es mayor en longitud que las concentraciones anteriores, por lo anterior se establece que si se requiere llevar el proceso a temperaturas mayores de cocción al incrementar la concentración de lecitina se incrementa la resistencia al calor aplicado en el evento térmico como se observó en el análisis comparativo del flujo de calor requerido a diferentes concentraciones en la gráfica 35. ⁽²⁶⁾⁽⁴⁴⁾⁽⁴⁶⁾⁽⁵¹⁾

Gráfica 34. Termograma comparativo 1 Interacción yema -lecitina al 0.3 y 0.5% en relación a la yema de huevo en estado nativo.



Gráfica 35. Termograma comparativo 2 interacción yema de huevo- lecitina al 0.3, 0.5 y 0.7% en relación al estado nativo de desnaturalización de la yema de huevo.



Se prosiguió a realizar el cálculo de la energía de activación por el método de Kissinger (Anexo2. Pág. XVII, XVIII. Gráfica.59,60,61) de las interacciones establecidas en referencia a la energía de activación del estado nativo de desnaturalización de la yema de huevo ya que los dos componentes por sus componentes grasos en el sistema panificable actúan en las propiedades de membrana del pan, los valores obtenidos se encuentran expresados en la tabla 22 ⁽¹⁶⁾⁽³³⁾⁽³⁹⁾

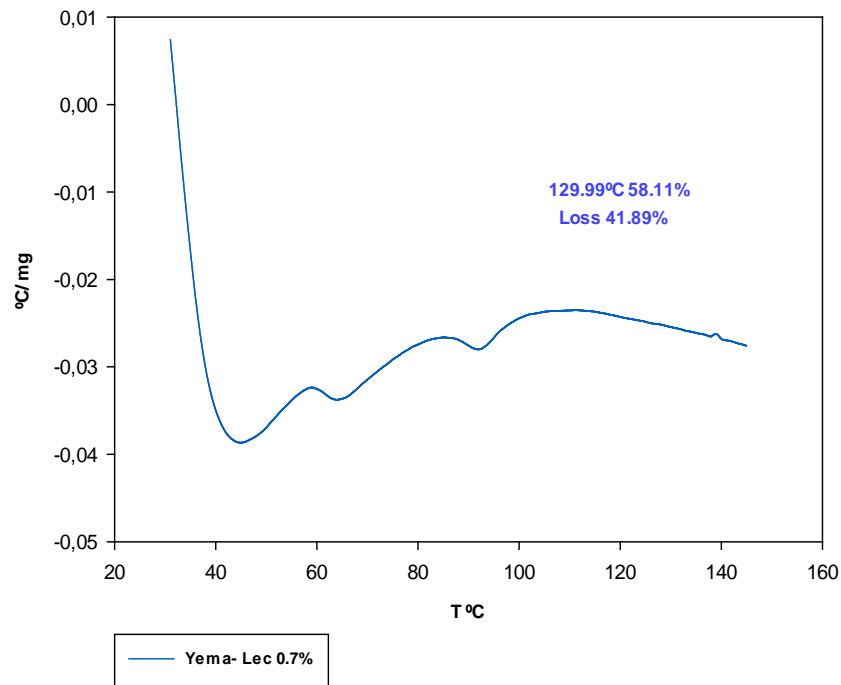
Tabla 22. Energía de activación de la interacción yema-lectina a la concentración del 0.3, 0.5 y 0.7%.

□Lecitina □ %	Energía de Activación (J/mol)	Coefficiente de Correlación %
Yema de Huevo	341.2	99.8
0.3	349.5	99.9
0.5	347.7	99.9
0.7	357.8	99.9

La energía de activación respecto a la yema de huevo en estado nativo demostró que al agregar tensoactivo al sistema se requirió una mayor energía para que tuviera lugar la formación de los enlaces en la superficie del sistema, esta es característica del tensoactivo por su poder de aislante térmico que le confiere sus propiedades químicas en la membrana del sistema, con una correlación del 99.8 al 99.9 en los datos experimentales se interpretó que la energía a adicionar para que se lleven a cabo la formación de enlaces de superficie no dependen de la concentración de lecitina, teniendo como concentración crítica del sistema la utilizada al 0.5% de tensoactivo por la característica de requerir una menor concentración de energía para que las colisiones moleculares de la superficie comience a formar la red de tensoactivo superficial en el pan.

Del análisis termogravimétrico, que se expresa en la gráfica 36, se concluyó que al utilizar lecitina a una concentración mayor al 0.5% no favorece la retención de agua en el sistema, si no que a 0.7% de concentración la pérdida de componentes volátiles y agua es mayor a la utilizada a 0.5% teniendo un decremento del 41.89% de la masa inicial en el proceso de altas temperaturas. Sin embargo aunque no es directamente proporcional la captación de humedad a la concentración de lecitina utilizada esta a altas concentraciones retiene mas humedad que la yema de huevo, esto se debe a que la temperatura de inicio del proceso de desnaturalización comienza antes que las concentraciones antes mencionadas y al suceder esto en el proceso de calentamiento se pierden una mayor cantidad de componentes susceptibles al calor.

Gráfica 36. Estudio termogravimétrico del sistema yema- lecitina al 0.7%.



Como se menciona la característica de la membrana semipermeable que se formó en la parte superior al adicionar lecitina en el sistema creó una presión de vapor mayor en el interior de la masa panificable en el proceso de cocción la cual fue un factor predominante en la formación de poros en el interior del producto panificable, así como la inserción de moléculas de CO₂ que le confiere capacidad volumétrica de aire a la masa y formación de espacios vacíos que se apreció en la cantidad y forma de poros, la cual es también una característica de los atributos de la red que se conformó con la interacción presente a la concentración del 0.7% ,esquemática en la figura 29 se apreció la estructura porosa a la visibilidad del pan que se obtuvo.⁽⁴⁰⁾⁽⁵¹⁾⁽⁵⁶⁾

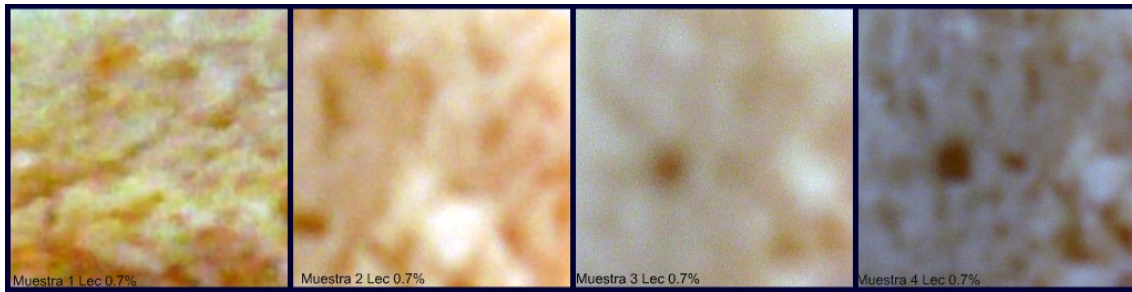


Figura No. 29. Tamaño de poro del pan obtenido en la interacción gluten-lectina al 0.7%.

En el sistema gluten- lecitina se determinó que al utilizar las tres concentraciones propuestas se obtienen estructuras donde predominan los poros en el sistema aunque estos son de menor dimensión a los observados en la interacción gluten- grenetina. La concentración de 0.5% de lecitina generó poros de mayor amplitud pero de menor profundidad en el pan, mientras que a la concentración del 0.3 y 0.7% el tamaño de los poros conformados siguen la misma línea de proporción como se observó en la figura 30.

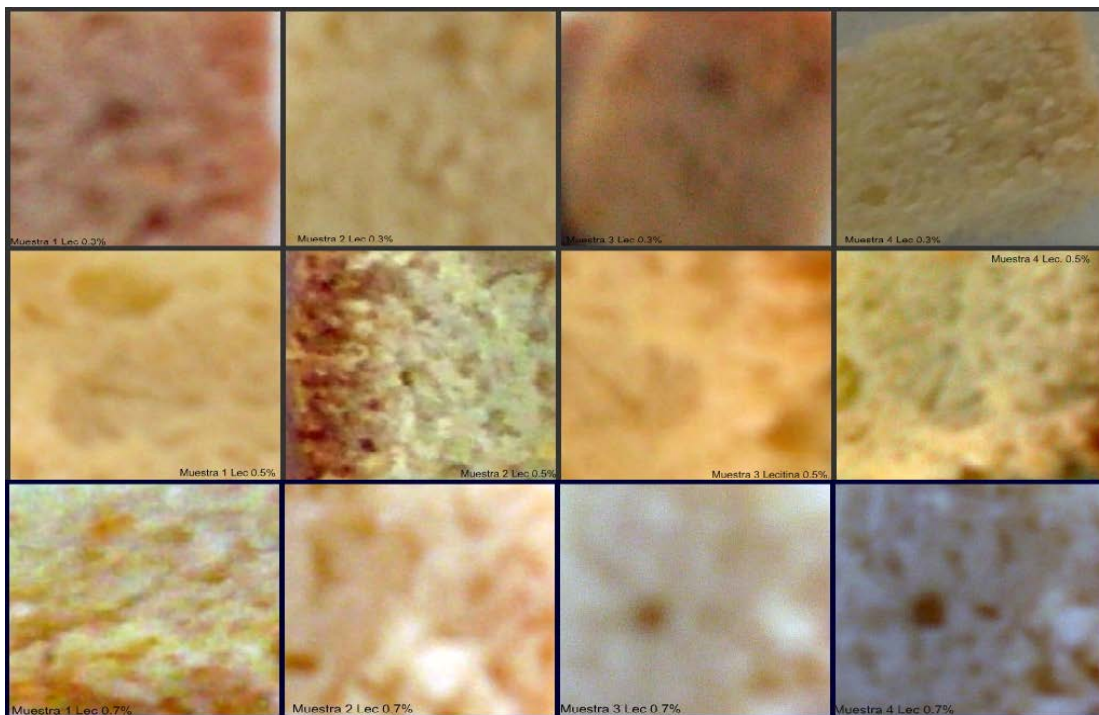


Figura No. 30. Tamaño de poro del pan obtenido en la interacción gluten-lectina al 0.3, 0.5 y 0.7%.

Al realizar la comparación visual de los diferentes niveles de variación que se utilizaron para el estudio de las interacciones se determinó que las mezclas gluten- grenetina y gluten- lecitina tienen la característica de generar sistemas con mayor porosidad en el sistema como se explicó con anterioridad por las características propias que le confiere tanto la grenetina a ser una proteína elástica como la lecitina por el efecto hidrófobo y la facilidad de captación de CO₂ en el

sistema, la goma de mezquite en comparación generó un pan más compacto y de poros menos visibles en el pan obtenido, esquematizado en la figura 31.

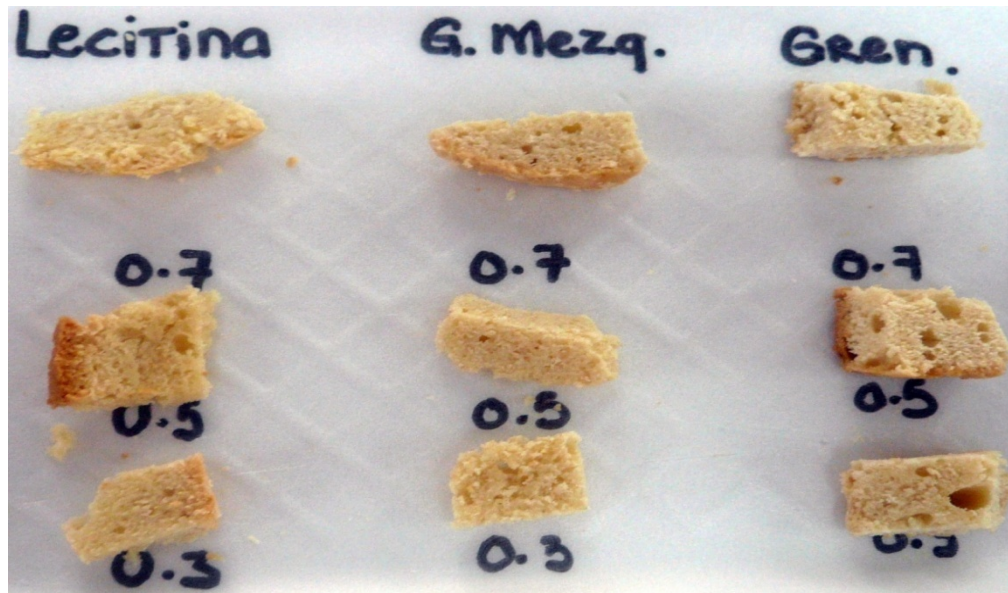
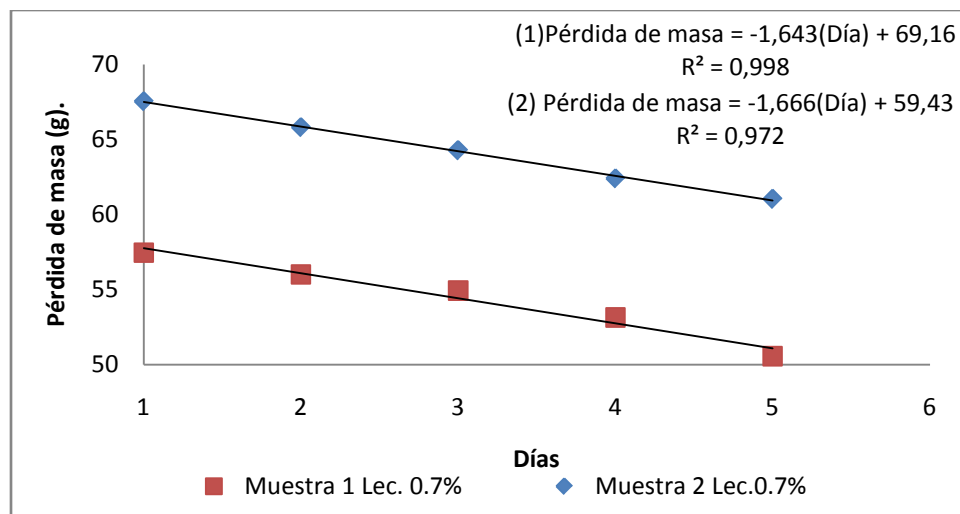


Figura No. 31. Características visuales obtenidas a los diferentes niveles de variación establecidos.

Referente al análisis de pérdida de masa, expresada en la gráfica 37, a la concentración de lecitina al 0.7%, se determinó la velocidad de pérdida de masa de dos muestras de pan con lecitina al 0.7%, para estas condiciones la pérdida de masa, constituida por la pérdida de materia volátil y agua libre del sistema panificable, es a razón de 1.643 g/día a 1.666 g/día con un coeficiente de correlación del 99.8% al 97.2%.

Gráfica 37. Pérdida de masa de la interacción de pan-lecitina 0.7%.



Posteriormente en una muestra patrón se determinó el incremento volumétrico de la masa de pan antes y después de la cocción, fue de 56.425 cm³ al interactuar la lecitina en esta concentración, los valores del decremento volumétrico en anaquel son expresados en la tabla 23.

Tabla 23. Propiedades del pan con lecitina 0.7%.

No de Muestra 10	Volumen inicial de la masa panificable. 157.4 cm ³ Humedad de la mezcla: 56.65%		
Tipo de Pan: Lecitina 0.7%	Masa antes cocción (g)	Masa final(g)	Decremento volumétrico.(cm ³)
Día 1	234.6	194.1	213.825
Día 3	234.6	190.89	211.925
Día 7	234.6	187.256	210.105

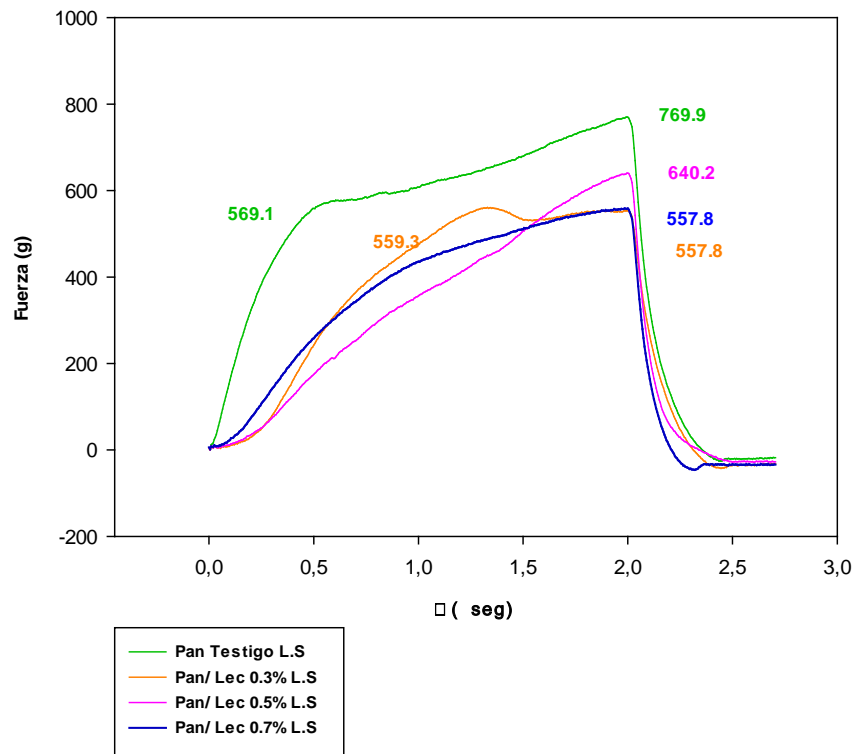
Se realizó el análisis de perfil de textura para determinar la influencia de la adición de tensoactivo en el pan, la evaluación de fracturabilidad y dureza se llevó a cabo de la misma manera que en las dos interacciones anteriores.⁽²³⁾⁽³⁵⁾⁽⁴⁶⁾⁽⁴⁸⁾⁽⁵¹⁾

La interacción proteína- tensoactivo tiene la finalidad de fungir como humectante en el pan, logrando así una mayor vida de anaquel, los humectantes unidos atraen hacia el sistema agua gracias a los grupos iónicos hidrofílicos de los tensoactivos, tiene un mecanismo de acción hidrotrópica de los humectantes iónicos sobre la proteína, se presenta el enlace electrovalente a través de la unión de grupos apolares, en la parte superior del sistema alimenticio se observó mediante los parámetros texturales de dureza y fracturabilidad expresados en la grafica 38, que al usar la lecitina de soya a las diferentes concentraciones establecidas se obtuvo una reducción en la dureza y punto de fracturabilidad en referencia al pan patrón, el comportamiento textural entre las concentraciones del 0.3 y 0.7 % tienen una similitud en cuanto al punto de dureza exceptuando que la concentración de lecitina al 0.3% muestra un punto de fracturabilidad de 559.3 g/mol, esto se debe a que al usar una concentración de 0.7% se pueden presentar sitios de sobresaturación en las colisiones moleculares para que se lleven a cabo los enlaces electrovalentes y apolares que dan origen a la interacción lo que genera un decremento en la humidificación del mismo y lo cual se refleja en el parámetro de dureza, al utilizar una concentración de 0.5% la dureza incrementa en valor respecto a las concentraciones de 0.3 y 0.7% y presenta un decremento respecto al pan testigo.⁽²³⁾⁽⁴⁶⁾⁽³⁵⁾

Al utilizar lecitina de soya en la formulación para el proceso de panificación se observó que a una concentración mayor al 0.3% este tensoactivo tuvo la propiedad de disminuir la fracturabilidad en la corteza superior del pan, mostrando que a concentraciones del 0.5 y 0.7% este parámetro textural es nulo en el sistema alimenticio por lo que la lecitina presentó en el pan la propiedad de

disminuir la fracturabilidad debido a la propiedad de visco-elasticidad q le confirió al producto panificable.⁽²³⁾⁽³⁵⁾⁽⁴⁶⁾⁽⁴⁸⁾⁽⁵¹⁾

Gráfica No.38.Prueba textura de la interacción pan-lecitina lado superior.

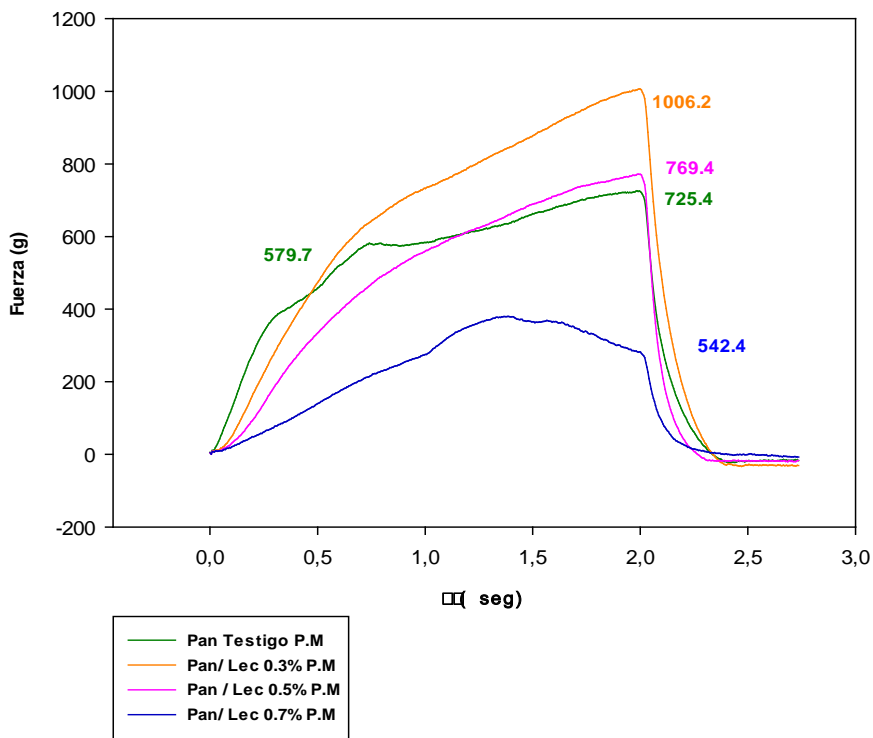


La interacción proteína-tensoactivo tiene la finalidad de fungir como humectante en el pan, logrando así una mayor vida de anaquel, los humectantes unidos atraen hacia el sistema agua gracias a los grupos iónicos hidrofílicos de los tensoactivos, tiene un mecanismo de acción hidrotrópica de los humectantes iónicos sobre la proteína, se presenta el enlace electrovalente a través de la unión de grupos apolares, en la parte superior del sistema alimenticio se observó que al usar la lecitina de soya a las diferentes concentraciones establecidas se obtuvo una reducción en la dureza y punto de fracturabilidad en referencia al pan patrón, el comportamiento textural entre las concentraciones del 0.3 y 0.7 % tienen una similitud en cuanto al punto de dureza exceptuando que la concentración de lecitina al 0.3% muestra un punto de fracturabilidad de 559.3 g/mol, esto se debe a que al usar una concentración de 0.7% se pueden presentar sitios de sobresaturación en las colisiones moleculares para que se lleven a cabo los enlaces electrovalentes y apolares que dan origen a la interacción lo que genera un decremento en la humidificación del mismo y lo cual se refleja en el parámetro de dureza, al utilizar una concentración de 0.5% la dureza incrementa en valor respecto a las concentraciones de 0.3 y 0.7% y presenta un decremento respecto al pan testigo.

Al utilizar lecitina de soya en la formulación para el proceso de panificación se determinó que a una concentración mayor al 0.3% este tensoactivo tuvo la propiedad de disminuir la fracturabilidad en la corteza superior del pan, mostrando que a concentraciones del 0.5 y 0.7%

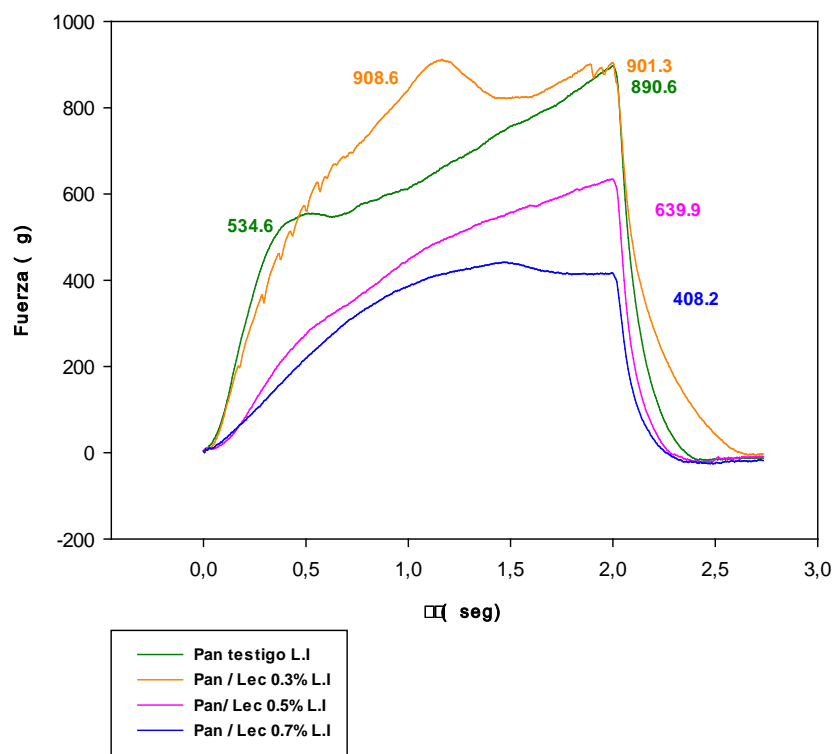
este parámetro textural es nulo en el sistema alimenticio por lo que la lecitina presente en el pan la propiedad de disminuir la fracturabilidad debido a la propiedad de visco-elasticidad que le confirió al producto panificable.

Gráfica 39. Prueba de textura de la interacción pan-lecitina punto medio.



En el punto medio del pan, cuyos parámetros texturales se expresan mediante la gráfica 39, se evaluó que solamente a la concentración del 0.7% de lecitina se logró obtener una dureza menor en el sistema, todas las concentraciones establecidas en la formulación no mostraron punto de fracturabilidad debido a las propiedades visco-elásticas del sistema, dicho comportamiento se presentó debido a la homogeneidad de la distribución de lecitina en el pan, se dedujo que a comparación a la parte superior en la parte intermedia la única concentración que fue capaz de decrementar la dureza del pan es la más alta (0.7%, dureza de 542.2 g/s), asumiendo que dicho tensoactivo obtuvo mayor interacción sobre la superficie del alimento que en el interior de este. Esto es porque una de las funciones de los tensoactivos es el de formar micelas o bicapas que interaccionan principalmente en la superficie del sistema.

Gráfica 40. Prueba de textura de la interacción pan-lectina lado inferior.



Los parámetros texturales expresados en la gráfica 40, indicaron que en la parte inferior del sistema alimenticio se determinó que las concentraciones del 0.5 y 0.7% de lecitina presentaron una menor dureza respecto al pan testigo siendo en estas dos concentraciones proporcionales a la cantidad adicionada, así mismo no presentaron un punto de fracturabilidad por lo que el tensoactivo le confirió al pan una mejora en la corteza y miga, al utilizar una concentración del 0.3% en la parte inferior se produjo un incremento en la dureza del pan respecto a la prueba testigo, lo que indicó que esta concentración es muy baja para proporcionar en todas las partes del sistema la suficiente cantidad de tensoactivo para lograr la homogeneidad en la interacción proteína-tensoactivo, las propiedades texturales en este punto del sistema se expresan en la gráfica 40.

El grupo fosfato de la lecitina de soya le confirió la propiedad anfipática en el producto panificable, su propiedad humectante atrajo hacia las moléculas de proteína una envoltura de agua que generalmente se presentó en la superficie del alimento gracias a los grupos iónicos hidrofílicos de los tensoactivos que interactuaron con las cadenas laterales apolares de los aminoácidos de las proteínas.

Se determinó que la concentración crítica en esta formulación es la de 0.7 % de lecitina en la formulación total ya que englobando las tres posiciones en las que se llevó a cabo el análisis textural fue la que le confirió mejoras en la dureza de la miga así como en la fracturabilidad de la corteza de pan analizado respecto a la prueba testigo y las formulaciones establecidas (0.3 y 0.5%). Presentando a diferencia de las otras dos interacciones la ausencia de fracturabilidad en el pan

esto se debió a las propiedades de aumento de la viscosidad de la masa que le confirió la lecitina de soya a la masa de panificación logrando con ello una miga de pan menos desmonorable.⁽²³⁾⁽³⁵⁾⁽⁴⁶⁾⁽⁴⁸⁾⁽⁵¹⁾

CONCLUSIONES.

Se detallan las conclusiones de los análisis de la información obtenida de los diferentes niveles de variación propuestos.

La interacción gluten- grenetina se llevo a cabo a condiciones de control de pH de 6.708, 6.733 y 6.77 respectivamente a los niveles de variación establecidos, teniendo un incremento de pH respecto al gluten patrón sin llegar a la carga neutra del mismo, se determino que las propiedades de anaquel como la pérdida de peso por día y la conservación volumétrica fueron proporcionales a la concentración agregada a la formulación, conservando un valor volumétrico del 80.304% en el lapso de 1 semana y logrando disminuir la pérdida de peso en un intervalo del 45.12 al 44.16% respecto al pan blanco a la concentración máxima del 0.7% de grenetina.

El análisis de termogravimetría que se realizo en experimentación dinámica mostro que la curva de descomposición térmica que pierde menos cantidad de agua libre y compuestos volátiles fue a la concentración del 0.5% de grenetina adicionada conservando el 63.89% de la masa inicial al proceso térmico, por lo que indico que a dicha concentración la interacción presente fue capaz de convertir una mayor cantidad de agua libre en agua ligada mediante puentes de hidrogeno y enlaces covalentes propios de los hidrocoloides provenientes de fracciones proteínicas; la energía de activación minima para el acontecimiento de las colisiones entre gluten- grenetina se presento de manera similar a la concentración del 0.5% disminuyendo 55.8 J/mol a los requerimientos del gluten patrón.

La calorimetría DSC nos expreso que el retroceso de temperatura respecto a la desnaturalización del estado nativo del gluten presento un decremento de temperatura de desnaturalización mayor en la concentración del 0.5% obteniendo un $\Delta T_m = 30.58^\circ\text{C}$ respecto a la T_m del gluten en estado nativo, sin embargo, a dicha concentración se genero un segundo evento térmico que indico la gelatinización de una fracción molecular del complejo creado; el descenso de la T_m no presento una relación directamente proporcional a la concentración agregada a la formulación, esto es por las colisiones moleculares y los puntos de anclaje presentes a las diversas concentraciones de grenetina, teniendo un decremento máximo en la concentración del 0.5% y mínimo a la concentración del 0.3%.

Respecto al análisis de textura donde se analizaron las propiedades de fracturabilidad y dureza se determino que en el punto medio el pan presento menor dureza a la concentración del 0.7%, visualmente logro disminuir el tamaño de poros creados en el pan, sin embargo, tuvo una fragilidad mayor en el sistema, por lo que referente al análisis en el lado superior e inferior se dedujo que las propiedades optimas texturales se obtuvieron a la concentración del 0.5% de dicha proteína en el pan.

Por lo anterior respecto al proceso de elaboración, en la evaluación de temperatura de desnaturalización proteica y parámetros texturales se dedujo que la concentración critica para optimizar el proceso de panificación al adicionar grenetina fue la concentración del 0.5%, sin

embargo cabe destacar que el flujo de calor indicó que el gluten en estado nativo obtuvo mayor estabilidad térmica.

En la interacción gluten- goma de mezquite el pH de las interacciones fue de 6.388,6.44 y 6.425 respectivamente a los niveles de variación establecidos, la pérdida de peso en anaquel de pan mínima fue al utilizar la concentración del 0.5% teniendo una pérdida menor a la presentada por la interacción gluten- gretina conservando en el sistema alimenticio de 0.416 a 0.392 g/ día, el incremento volumétrico de la masa tuvo una relación directamente proporcional a la concentración de goma adicionada teniendo un incremento en volumen de 20.343 cm³ respecto al pan testigo.

El análisis termogravimétrico se llevo a cabo a las mismas condiciones que en la interacción gluten- gretina tuvo como resultado que la concentración del 0.7% de goma de mezquite genero una masa más estable al sometimiento de altas temperaturas conservando el 70.22% de la masa inicial, teniendo una mayor conservación de agua libre y componentes volátiles que las que se observaron a las interacciones gluten- gretina, por su composición proteínica, su característica electrolítica y su estructura de polisacáridos que le confiere a la masa una mayor estabilidad en el proceso de horneado.

El ΔH menor se presento a la máxima concentración de goma de mezquite propuesta en los niveles de variación teniendo un valor de 2592 mJ. La energía de activación requerida para que se presentaran las colisiones y los puntos de anclaje entre el gluten y la goma de mezquite también fue menor a dicha concentración.

El análisis calorimétrico demostró que a concentraciones mayores del 0.3% la goma de mezquite interactuó de tal manera que formo dos picos en su estructura indicando que la composición de la goma estableció la formación dos compuestos dentro del sistema, la menor T_m se evaluo a la concentración del 0.3% donde se formo un solo pico endotérmico y dicha temperatura presento un $\Delta T = 19.19$ °C respecto a la T_m del gluten del trigo en estado nativo, la concentración del 0.5% presento un evento primario de menor relevancia a la T_m de 68.5° C y el evento de mayor importancia se efectuó a la $T_m = 88.47$ °C , al incrementar la concentración al 0.7% el evento de desnaturalización principal se efectuó a $T_m = 83.41$, teniendo otro evento térmico de menor relevancia a la $T_m = 100.25$ °C, lo que indico que al incrementar la concentración de goma de mezquite por el impedimento estérico una fracción del gluten quedo libre y no interactuó con la goma.

El análisis de textura que se realizó estableció que la concentración critica que se presenta en el sistema para la obtención de mejores parámetros texturales fue la concentración del 0.5%.

Al adicionar dicho hidrocoloide a la formulación se obtuvo un pan con menor porosidad en su estructura.

En la interacción gluten- lecitina, el análisis DSC, TGA y Energía de activación se realizaron en relación a la yema de huevo presente en la formulación por la solubilidad de lecitina en ella.

El pH de las mezclas aumento en referencia al pH de la yema de huevo en estado nativo (5.37) con los valores de 5.576,5.613 y 5.67 acorde a los niveles de variación de lecitina en el sistema.

La pérdida de peso por día del sistema panificable tuvo una relación directamente proporcional a la concentración de lecitina que se adiciono en el sistema, teniendo menor decremento en la concentración del 0.7% respecto al gluten de trigo y las interacciones proteína- proteína y proteína – polisacárido establecidos en el trabajo experimental.

Al igual que la pérdida de peso , el incremento volumétrico fue directamente proporcional a la concentración de gredina establecida, por fungir esta como una membrana semipermeable que permite al sistema la introducción de CO₂ en el pan, teniendo un incremento de 18.3 cm³ referente al pan testigo.

Mediante el análisis termogravimétrico se dedujo que la concentración del 0.5% de lecitina formo una estructura de masa de mayor estabilidad al sometimiento de altas temperaturas, conservando el 72.54 de masa al termino del proceso.

El menor valor de ΔH se efectuó a la concentración del 0.7% en el sistema teniendo un valor de 3769 mJ, mientras que la menor energía de activación se presento a la concentración del 0.5%.

El análisis calorímetro determino que en el estado nativo de desnaturalización de la yema de huevo presento dos eventos térmicos a $T_m = 86.55$ °C y 105.7°C respectivamente, al adicionar lecitina en el sistema desaparece el segundo evento térmico, a la concentración del 0.3% tuvo un decremento de $T_m = 1.25$ ° C respecto a la desnaturalización nativa de la yema de huevo, mientras que al aumentar la concentración al 0.5 y 0.7% se presento un incremento en la T_m del evento térmico en relación a la concentración adicionada.

El análisis de perfil de textura determino que las propiedades texturales con mejores parámetros se obtuvieron a la concentración de 0.7%, presentando la ausencia de fracturabilidad del pan por el aumento de viscosidad en el sistema.

Como recomendación para trabajos posteriores se sugiere el uso en conjunto de gredina, goma de mezquite y lecitina de soya, para observar el sinergismo de los hidrocoloides y tensoactivos presentes en el sistema panificable, así como reducir el pH del gluten de trigo a relación de 5 ya que una harina de trigo más madura modifica las propiedades panificadoras del sistema.

ANEXO 1

Determinación de las actividades preliminares.

ACTIVIDAD PRELIMINAR 1. Determinación de actividad de agua (aW) de las materias primas.

Se evaluó por triplicado el valor de actividad de agua en la materia prima, como parámetro de control de los componentes que interaccionaron en la elaboración de pan, de la misma manera para evaluar el contenido de humedad de la mezcla y que fuese estandarizado dicho valor para la elaboración y evaluación de los análisis calorimétricos DSC y TGA a los que se sometieron las mezclas aisladas de las interacciones establecidas, el resultado de dicha propiedad a la temperatura realizada se expresa en la tabla 24.⁽⁴⁾

Tabla No. 24. Resultados de actividad de agua con una incertidumbre de 0.008%.

MATERIA PRIMA	aW	Incertidumbre	Temperatura °C
Grenetina	0.392	0.008	24.4
Harina	0.577	0.008	23.9
Leche	0.825	0.008	23.7

ACTIVIDAD PRELIMINAR 2. Determinación del pH de la materia prima y formulaciones establecidas.

Siendo el punto crítico de mayor importancia en las interacciones que se experimentaron se evaluó el pH, tanto en la materia prima, como en las mezclas acorde a las interacciones establecidas, los valores de dicha evaluación se muestran en la tabla 25 y 26, lo cual es un parámetro fundamental para el análisis de la formación de enlaces de los diversos componentes, la tabla 25 sirvió como parámetro de control de pH de la masa de pan testigo para estandarizar la materia prima con la que fue realizado el pan, mientras que la tabla 26 indicó el punto isoeléctrico de la masa en las interacciones establecidas.⁽²⁷⁾⁽³⁰⁾

Tabla No. 25. Medición de pH de los componentes del pan.

MATERIAS PRIMAS	EVENTO 1	EVENTO2	EVENTO 3	Promedio	Desviación estándar	Temperatura (°C)
Clara de huevo	7.6	7.6	7.65	7.616	0.023	19.2
Yema de huevo	5.4	5.35	5.38	5.376	0.0205	19.2
Goma de mezquite	5.94	6.1	6	6.013	0.0659	20.3
Grenetina	6.38	6.36	6.36	6.366	0.0094	19.2
Lecitina de Soya	6.64	6.62	6.64	6.633	0.0092	20.3
Harina	6.33	6.325	6.345	6.33	0.0084	19.6

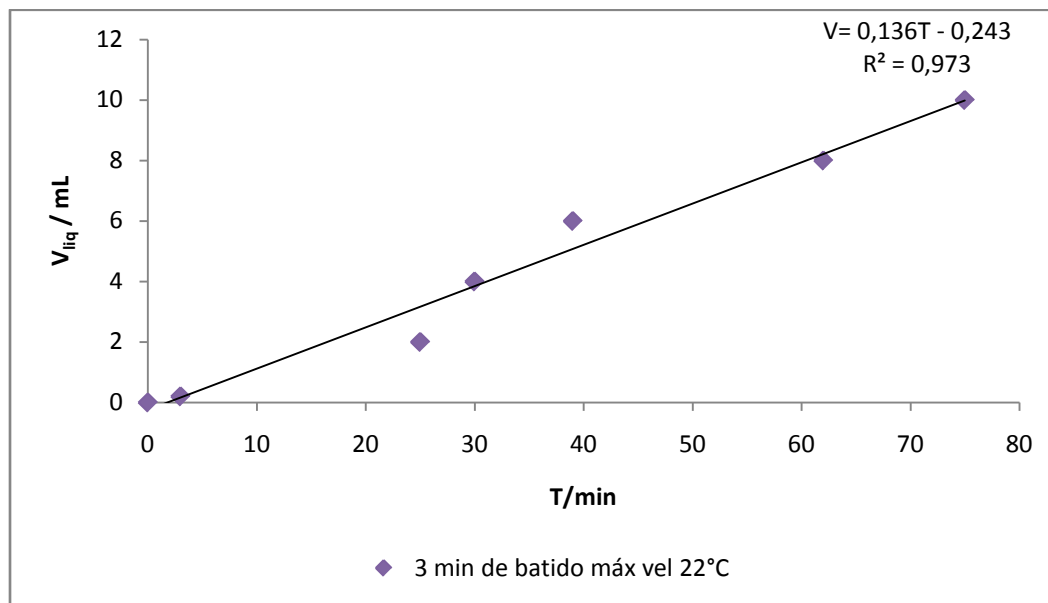
Tabla No. 26. Medición de pH de las mezclas de interacciones de pan.

MEZCLAS	EVENTO 1	EVENTO2	EVENTO 3	PROMEDIO	DESVIACION ESTANDAR	TEMPERATURA °C
Harina 0.3% grenetina	6.71	6.705	6.71	6.708	0.00235	20.4
Harina 0.5% grenetina	6.73	6.73	6.74	6.733	0.00471	20.4
Harina 0.7% grenetina	6.77	6.77	6.77	6.77	0	20.2
Harina 0.3% goma de mezquite	6.39	6.385	6.39	6.388	0.00235	19.3
Harina 0.5% goma de mezquite	6.44	6.44	6.44	6.44	0	19.3
Harina 0.3% goma de mezquite	6.48	6.495	6.48	6.485	0.00707	19.2
Yema 0.3% lecitina	5.58	5.57	5.58	5.576	0.00471	20.3
Yema 0.5% lecitina	5.62	5.6	5.62	5.613	0.00942	20.3
Yema 0.7% lecitina	5.64	5.67	5.64	5.67	0.014	20.2

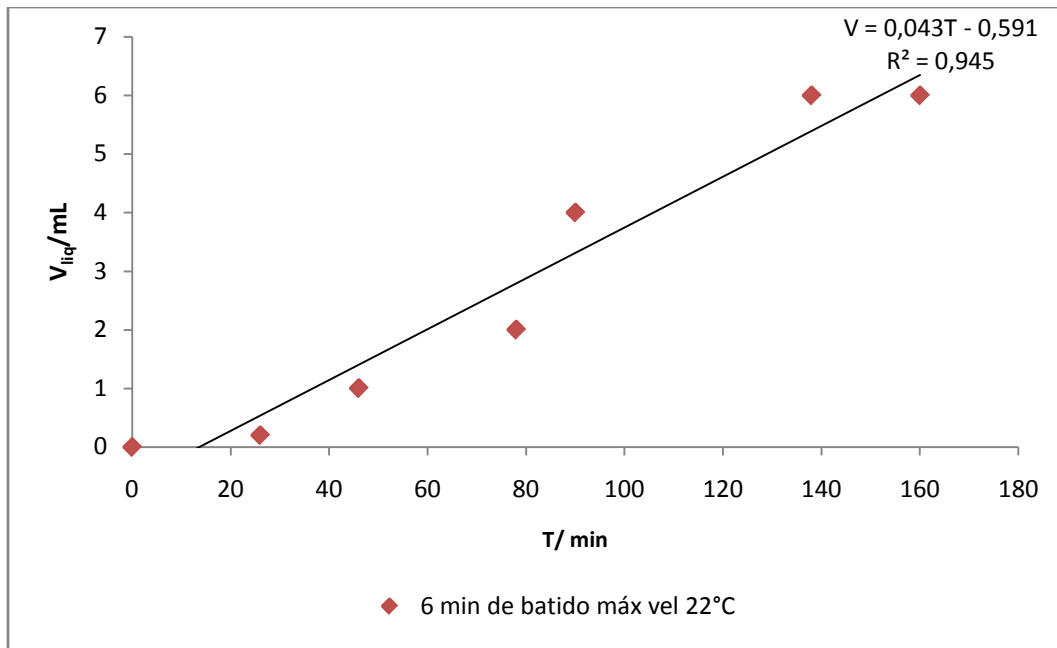
ACTIVIDAD PRELIMINAR 3. Determinación de la estabilidad de espumas.

Se evaluó la estabilidad de la espuma obtenida de la clara de huevo que integra a la formulación para la elaboración de pan, para agregar al sistema la espuma que resultó con mayor estabilidad acorde a los tiempos de batido, se establecieron 3 tiempos de batido de 3, 6 y 9 minutos, utilizando la velocidad de batido constante, las gráficas 41,42 y 43 expresan el volumen de liquido drenado a las diferentes variaciones de tiempo en reposo de la espuma, respecto al tiempo, englobando en la grafica 44 la comparación en los tiempos de formación de espuma establecidos, para determinar los tiempos en la elaboración de pan como parámetro de control .⁽³⁵⁾

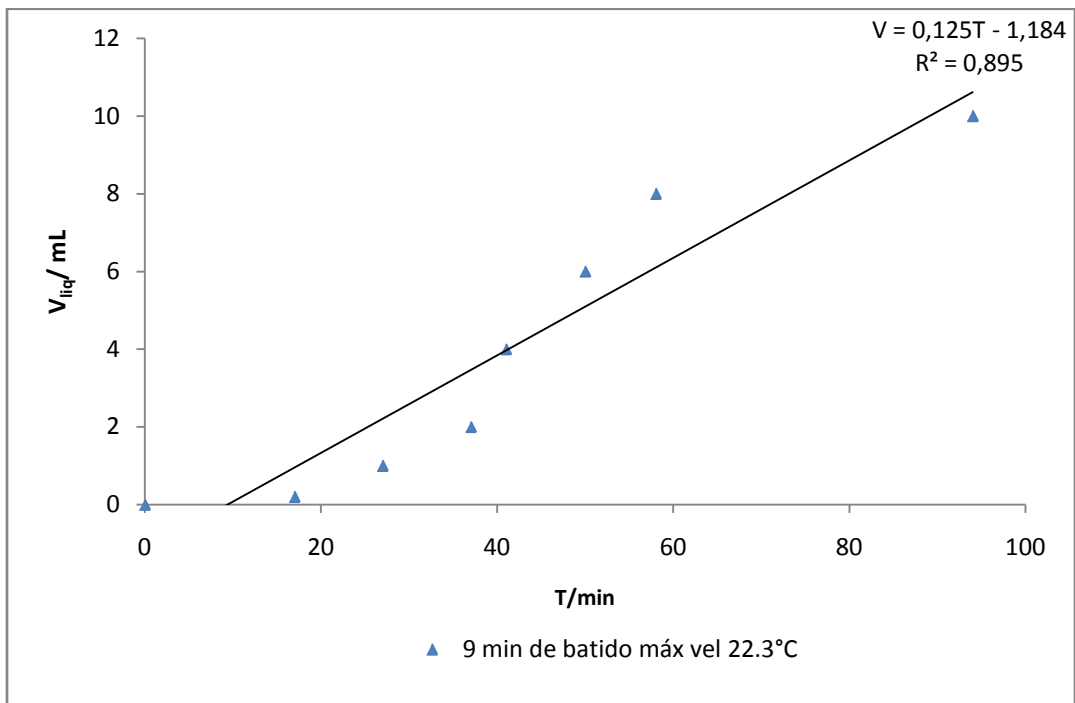
Gráfica No. 41. Estabilidad de espumas a un tiempo de 3 minutos.



Gráfica No. 42. Estabilidad de espumas a un tiempo de 6 minutos.



Gráfica No. 43. Estabilidad de espumas a un tiempo de 9 minutos.



Gráfica No. 44. Gráfico comparativo de la estabilidad de espumas a diferentes tiempos de batido.

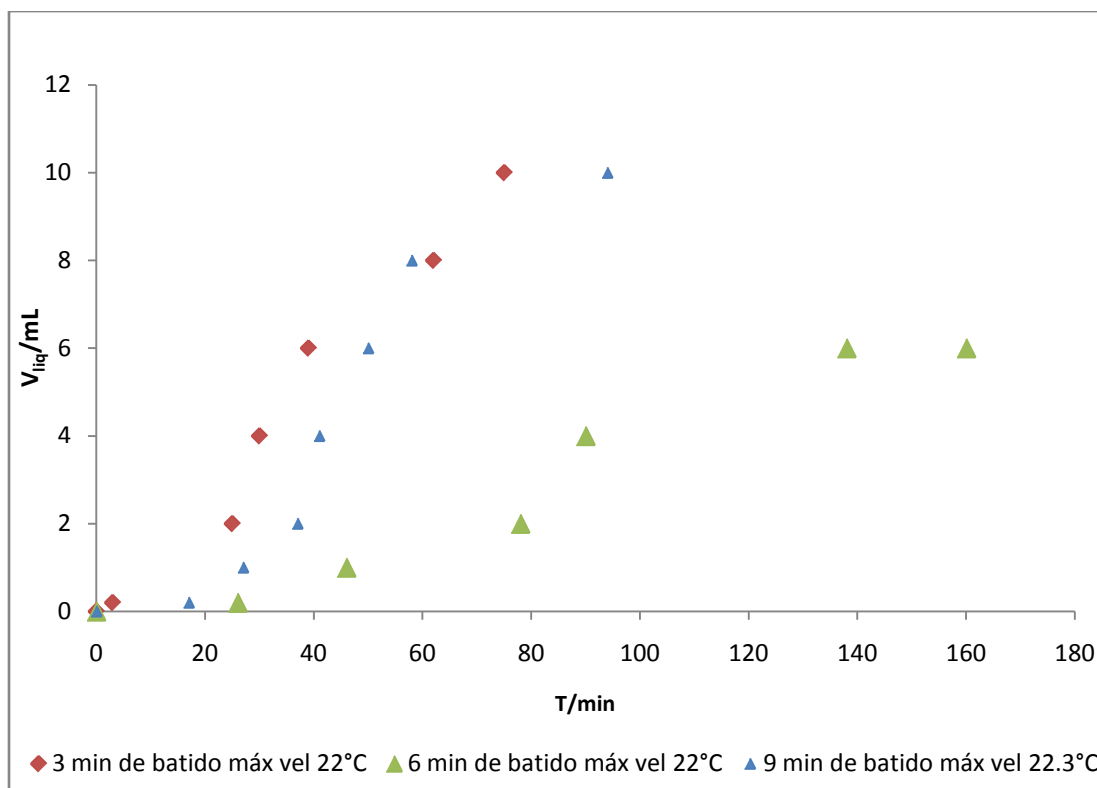


Tabla No. 27. Características generales de la espuma obtenida de la clara de huevo.

ASPECTOS DE LA ESPUMA OBTENIDA	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
Masa Inicial (g)	25	25	25
Masa Final (g)	9.93	11.2448	10.2
V. Inicial (cm ³)	34.35	34.35	34.35
V. final (cm ³)	164.2	190.472	206.89
Color	Blanco amarillo	Blanco	Blanco azulado
Textura	Se deshace	Dura	Rígida
Líquido drenado (mL)	10 en 72 min	6 en 120 min	10 en 97 min

De acuerdo a los resultados obtenidos en la tabla 27, se observó que a un menor tiempo de batido a la velocidad establecida la espuma no está del todo rodeada de gas, por lo que, es muy suave y le confiere una pérdida de líquido de 10 mL en 72 minutos, así mismo cuando se emplea un tiempo de batido muy prolongado la estructura aunque tiene mayor volumen debido a las moléculas de gas ingresadas en el seno de líquido esta presenta una inestabilidad fisicoquímica y el líquido drenado es de 10 ml en 97 min. Por lo que acorde a las características que presentaron

las muestras de albumina se utilizó para la realización del proceso de panificación la espuma obtenida de la albumina a 6 min con la velocidad máxima de batido, así esta condición funge como parámetro de control dentro del proceso ya que como se sabe esta condición influye directamente en la características fisicoquímicas, como es el volumen, e interacción de los componentes en el proceso de elaboración del pan.

ACTIVIDAD PRELIMINAR 4. Determinación de la formulación de pan.

Tabla No. 28. Determinación de la formulación de pan.

Ingredientes	Formulación en masa (g)	Formulación en porcentaje
Mantequilla	75	23.8
Huevo	74.27	23.58
Lechera	63.1575	20.05
Harina	100	31.74
Royal	2.573	0.83

De la misma forma que la cantidad de ingredientes presentes influye también el tiempo de obtención de pan el cual se estandarizó con la primera elaboración de pan blanco, los tiempos del proceso se enuncian en la tabla 29.

Tabla No. 29. Tiempo de elaboración de pan.

TIEMPO DE ELABORACION DE PAN	
Batido de Claras	6 minutos
Batido de Mantequilla	4 minutos
Batido mezcla 1 (mantequilla, leche, yema)	4 minutos
Mezcla 1 con Harina, clara de huevo y royal	6 minutos y se deja reposar 2 minutos
Temperatura de Horno	130° C
Tiempo de Horneo	1 Hora

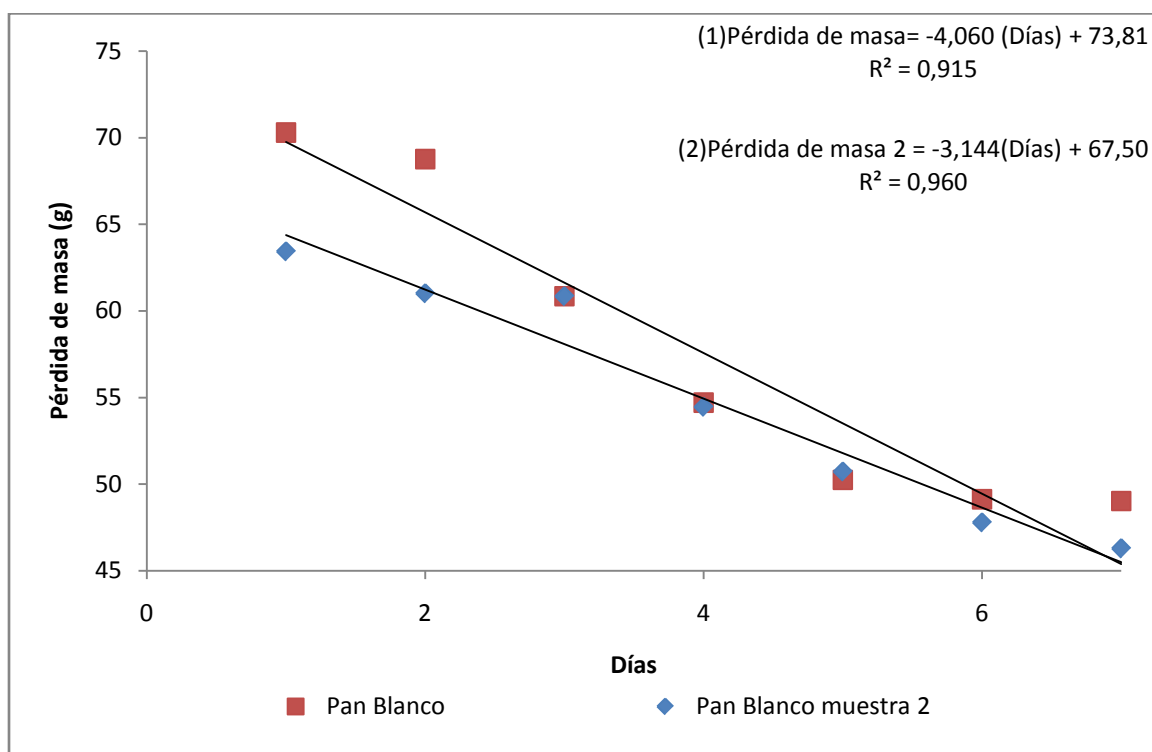
Mediante la actividad de agua cuyos valores se presentan en la tabla 30 se determinó la humedad de la mezcla inicial, la cual fungió como parámetro de control de humedad en las mezclas expuestas en la evaluación calorimétrica.

Tabla No. 30. Humedad relativa de la mezcla.

FORMULACION	aW	HR	Humedad
23.8% Mantequilla	-	-	21.69
23.58% Huevo	0.92	92	16.5412
20.05% Leche	0.825	82.5	18.3139
31.74% Harina	0.577	57.5	0.2079
0.83% Royal	0.13	13	

HUMEDAD TOTAL DE LA MEZCLA= 56.65308 %

Gráfica No. 45. Pérdida de masa de pan blanco.



La gráfica 45 representa la velocidad de pérdida de peso en función de la pendiente lo que se puede especificar que a condiciones de temperatura ambiente tiene una pérdida de masa de 3.144 a 4.06g/ día, obtenidas de la pendiente de las ecuaciones 1 y 2 de la gráfica 45, Dicho parámetro nos indica la pérdida de compuestos volátiles y principalmente agua en nuestro sistema sin la adición de ningún hidrocoloide, tensoactivo o proteína, siendo un parámetro de evaluación para el análisis de la pérdida de peso de las formulaciones establecidas en los objetivos propuestos .

La regresión lineal que es la que más se aproxima en parámetros de correlación nos indica la ecuación de relación de pérdida de peso de agua libre en el pan por lo que en el estado de pérdida

de agua libre bajo las condiciones establecidas se llevara a cabo mediante el modelo que da la regresión lineal con una exactitud del 91.5%.

Acorde a los parámetros de evaluación se prosiguió a determinar las propiedades del pan blanco en el primer día de elaboración, en el día 3 y el día 7 para determinar el cambio en la apariencia del pan, las propiedades del pan se muestran en la tabla 31.

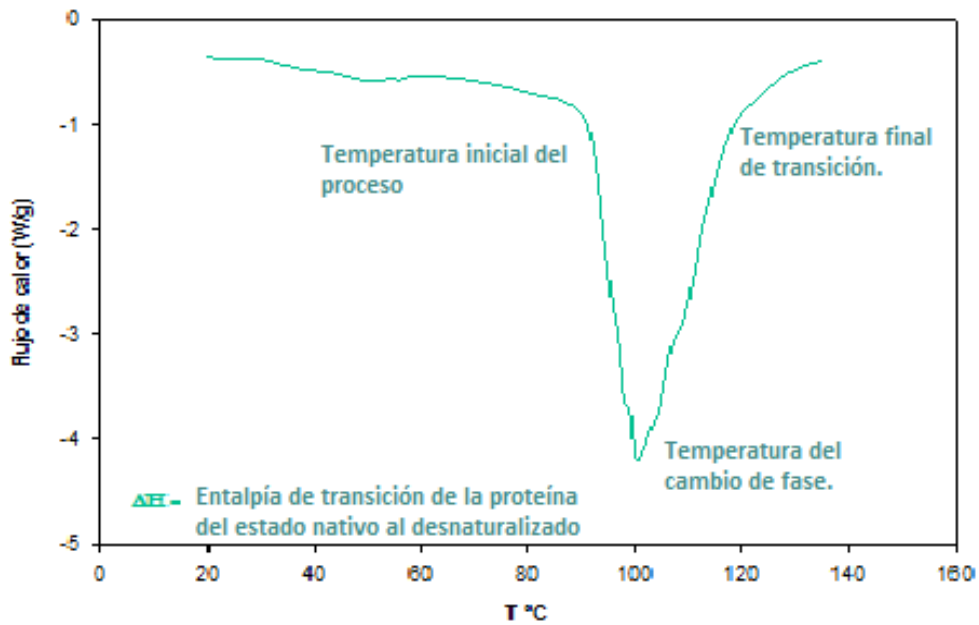
Tabla 31. Propiedades del plan blanco.

No de Muestra 1	Volumen inicial de la masa. 128.625cm ³ Humedad de la mezcla: 56.65%		
Tipo de Pan: Pan blanco	Masa antes cocción (g)	Masa final(g)	Vol.(cm ³)
Día 1	188.74	151.67	166.75
Día 3	188.74	135.62	150.625
Día 7	188.74	109.770	144.9

ACTIVIDAD PRELIMINAR 5. Determinación del estado nativo de desnaturalización de las proteínas de trigo y yema de huevo.

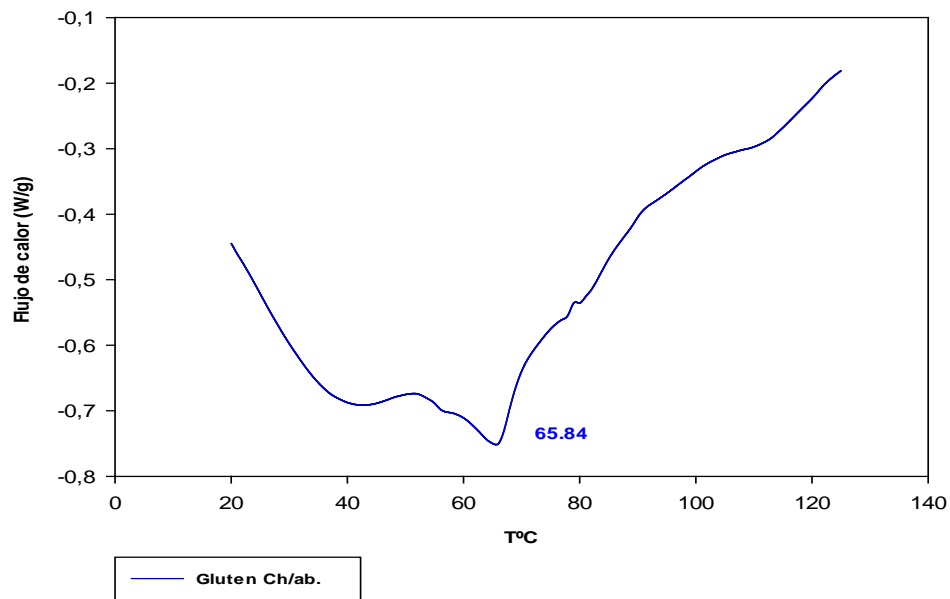
La desnaturalización de las proteínas que conforman al sistema alimenticio del pan se evaluó mediante calorimetría DSC, los parámetros calorimétricos se obtuvieron del termograma al someter la muestra a calentamiento dinámico, los valores principales a determinar se expresan en la gráfica 46, estos se evaluaron en cada uno de los termogramas de las interacciones establecidas, siendo de mayor relevancia el valor de la entalpía de transición de la proteína del estado nativo al desnaturalizado y la temperatura del cambio de fase, ya que, la temperatura inicial y final, en ciertos eventos no se determina con precisión. ⁽⁶⁾⁽¹⁸⁾

Gráfica No. 46. Parámetros obtenidos a partir del análisis calorimétrico DSC.



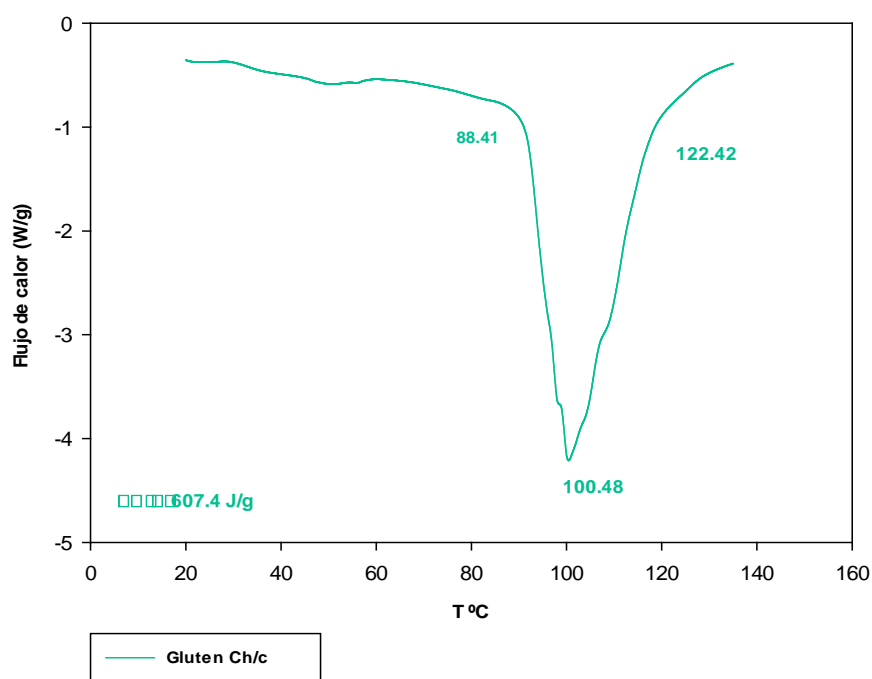
La primera determinación para la estandarización del método a utilizar se realizó en un intervalo de temperatura de 20°C a 130°C en charola abierta y se obtuvo el siguiente termograma que expresa la gráfica 47, el cual representa que el evento máximo ocurre a una temperatura de 65.84°C.

Gráfica No. 47. Termograma del gluten de trigo en charola abierta.



Posteriormente se evaluó el evento en charola cerrada para determinar el cambio del presente comportamiento en ausencia de oxígeno en el mismo intervalo de temperaturas, el termograma obtenido a dichas condiciones se presenta en la gráfica 48. Se observó un incremento en la temperatura donde comienza el evento térmico así como un pico más definido en el cual se determina que el evento térmico de desnaturalización de proteínas comienza en una temperatura de 88.41°C y finaliza en 122.42°C, la temperatura crítica del evento térmico ocurre a 100.48°C y el ΔH que presenta es de 607.4 J/g obtenido mediante la integral bajo la curva del evento mediante el software del equipo.

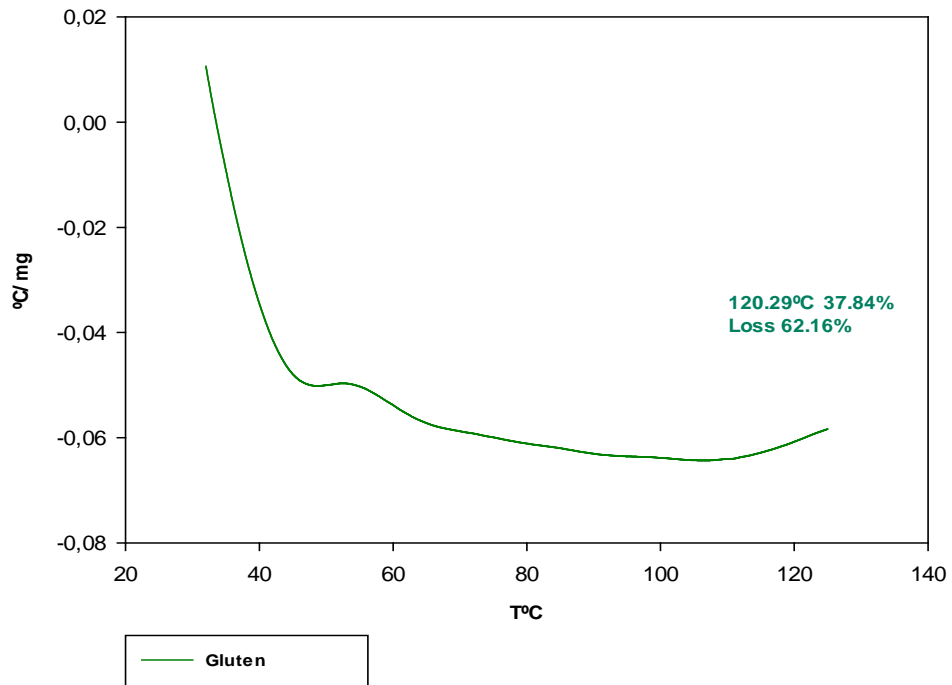
Gráfica No. 48. Termograma del gluten de trigo en charola cerrada.



De acuerdo a los siguientes parámetros obtenidos para el propósito de dicho evento se tomara como muestra de referencia el termograma de la gráfica 48, como referencia de la desnaturalización nativa del gluten de trigo. Así mismo se estandarizó el método a utilizar en las diferentes mezclas a charola cerrada en un intervalo de temperatura de 20 a 130°C.

Posteriormente se realizó un análisis termogravimétrico del gluten de trigo para el análisis térmico la pérdida de agua al incrementar la temperatura de la mezcla. Este análisis se efectuó en un intervalo de temperaturas de 30 a 130°C, con un tamaño de muestra de 4.004 mg y el resultado de dicho análisis térmico se expresó en el termograma presente en la gráfica 49.

Gráfica No. 49. Estudio termogravimétrico del gluten de trigo.

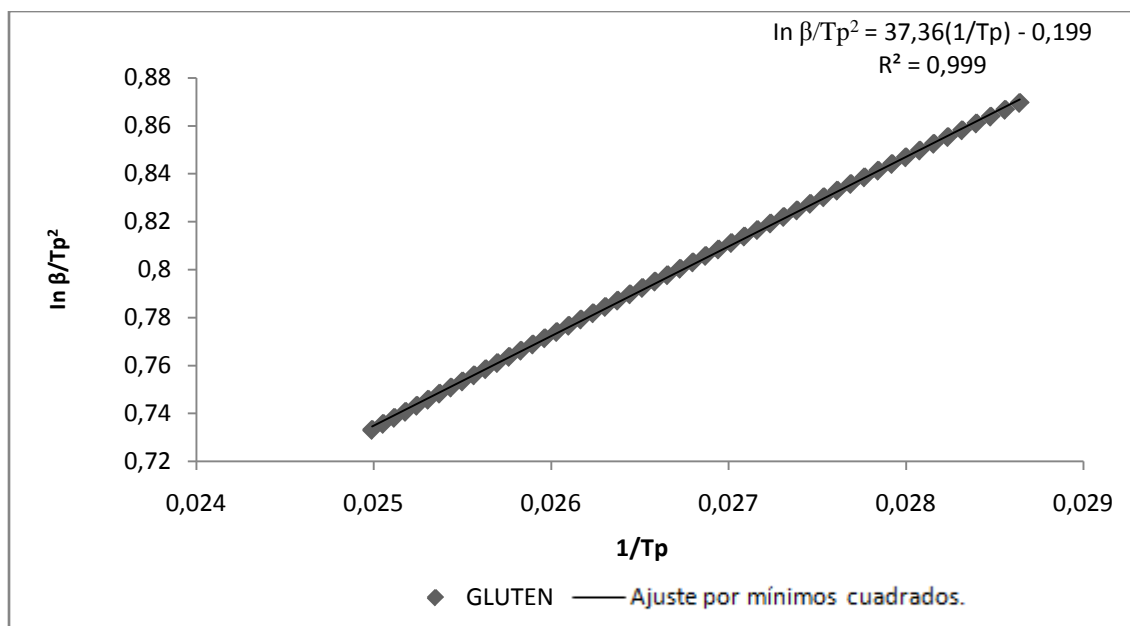


Se evaluó que a 120.29°C tiene una pérdida de componentes volátiles del 17.84% de la mezcla de gluten y que a estas mismas condiciones conservó el 82.16% de peso de la mezcla real.

Obtenidos estos parámetros se determinó la energía de activación mediante el termograma para analizar cuál es la energía mínima necesaria para que se lleve a cabo el proceso de desnaturalización proteica, utilizando el método de Kissinger.

La pendiente obtenida nos expresa la Energía de activación (E_a) en KJ/mol utilizando la velocidad de calentamiento del termograma, la constante R.

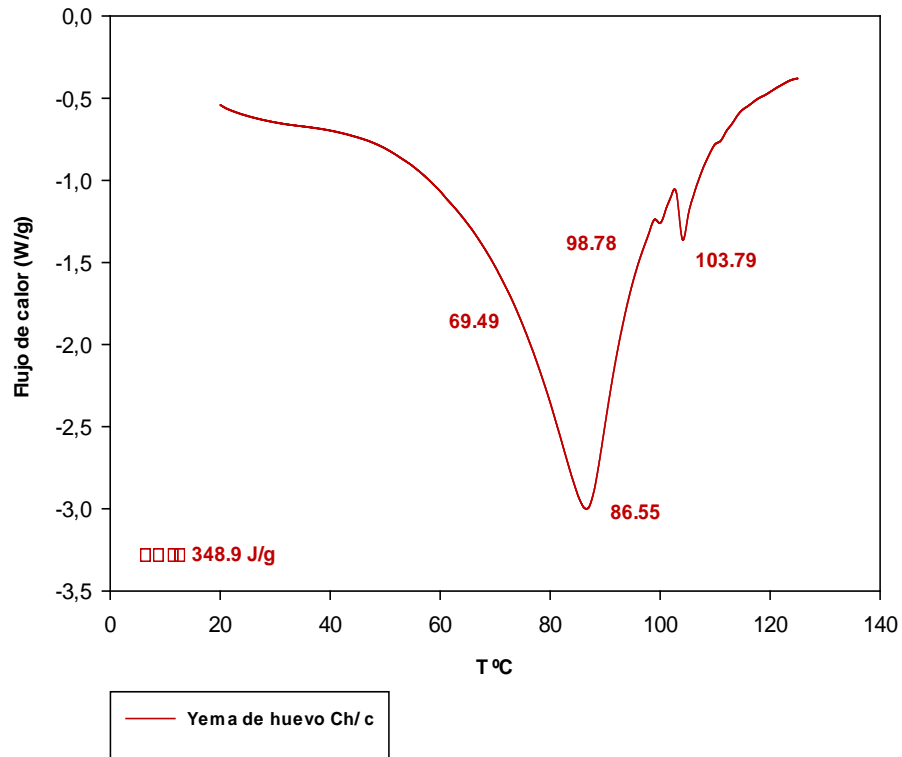
Gráfica No. 50. Energía de activación del gluten de trigo.



La energía mínima necesaria que se obtuvo a partir de la pendiente expresada en la gráfica 50 para que se llevara a cabo el evento térmico fue de 373.6 J/ Kg , con un coeficiente de correlación del 99.9% para la harina de trigo utilizada en el proceso de panificación. Estos parámetros iniciales son de gran importancia para la comparación de las interacciones en el objetivo particular 1 y 2.

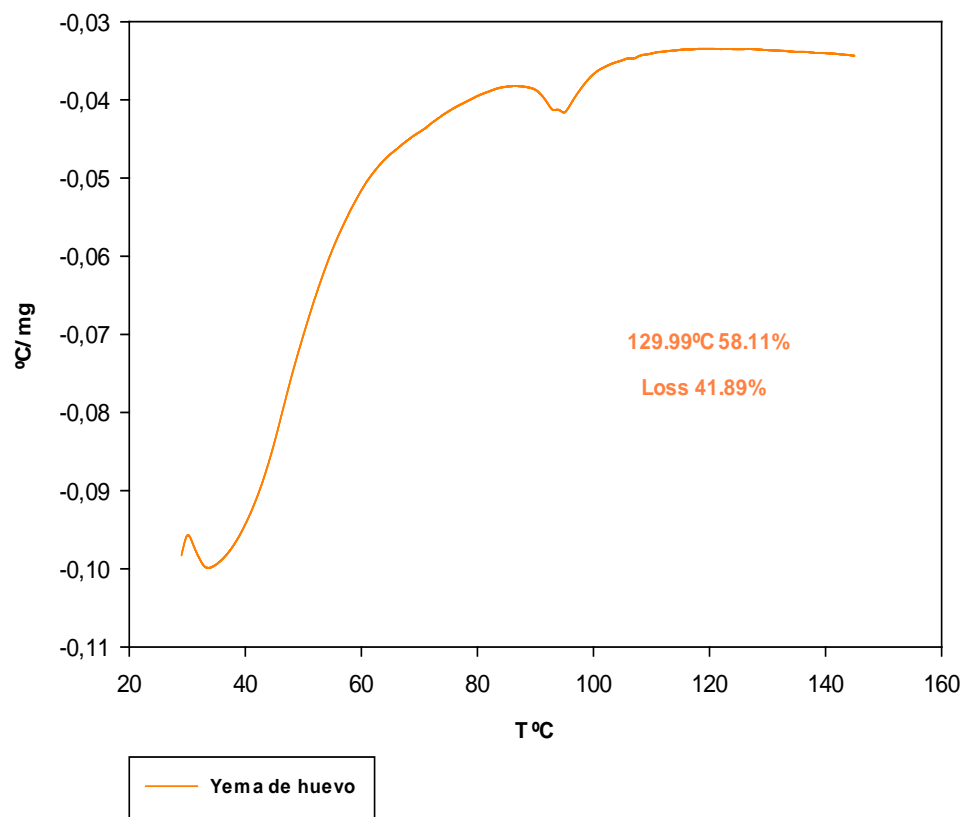
Para el objetivo particular 3 donde se empleó un tensoactivo, el cual es la lecitina de soya, se evaluó el análisis nativo de desnaturalización expresado mediante el análisis DSC de la gráfica 51 , el análisis termogravimétrico TGA y energía de activación de la yema de huevo. Se determinó que a dichas condiciones el evento térmico comenzó a la temperatura de 69.49°C y finalizó en 98.78°C, el evento máximo ocurrió a la temperatura de 86.55°C y la entalpía para dicho evento es de 348.9J/ g. Presentó un pico secundario a temperatura de 103.79°C lo cual es influenciado por el contenido de ácidos grasos presentes en dicho sistema alimenticio los cuales tienen mayor resistencia térmica.

Gráfica No. 51. Termograma de la yema de huevo.



Posteriormente se realizó el análisis de TGA, expresado en la gráfica 52, para determinar la pérdida de componentes volátiles en la yema de huevo en el rango de temperatura de 30 a 130°C que son las condiciones de temperatura a la que se realizó el proceso de cocción de la masa panificable.

Gráfica No. 52. Estudio termogravimétrico de la yema de huevo.

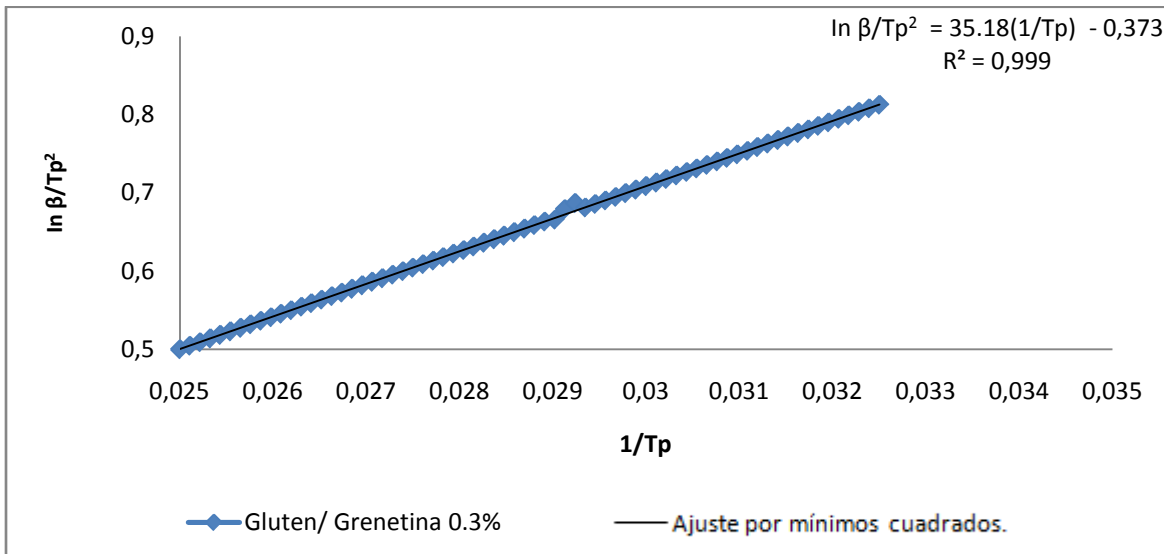


ANEXO No. 2.

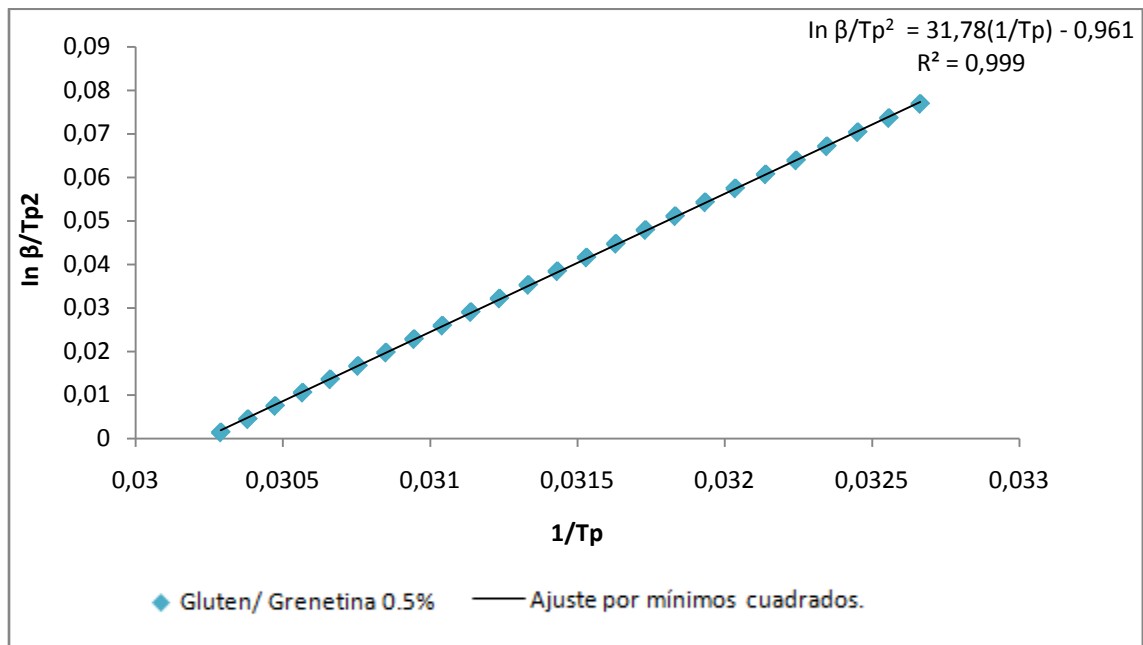
Gráficos de la energía de activación de los objetivos particulares 1,2 y 3 obtenidos mediante el método de Kissinger.

INTERACCION GLUTEN- GRENETINA.

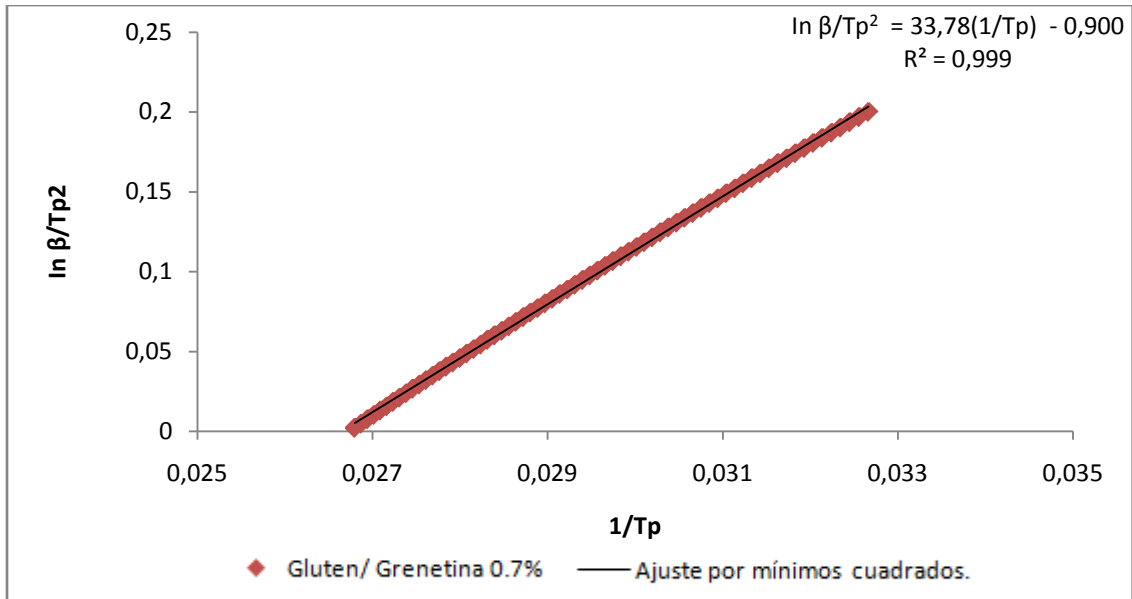
Gráfica No. 53. Método de Kissinger para obtener la energía de activación al 0.3% de grenetina.



Gráfica No. 54. Método de Kissinger para obtener la energía de activación al 0.5% de grenetina.

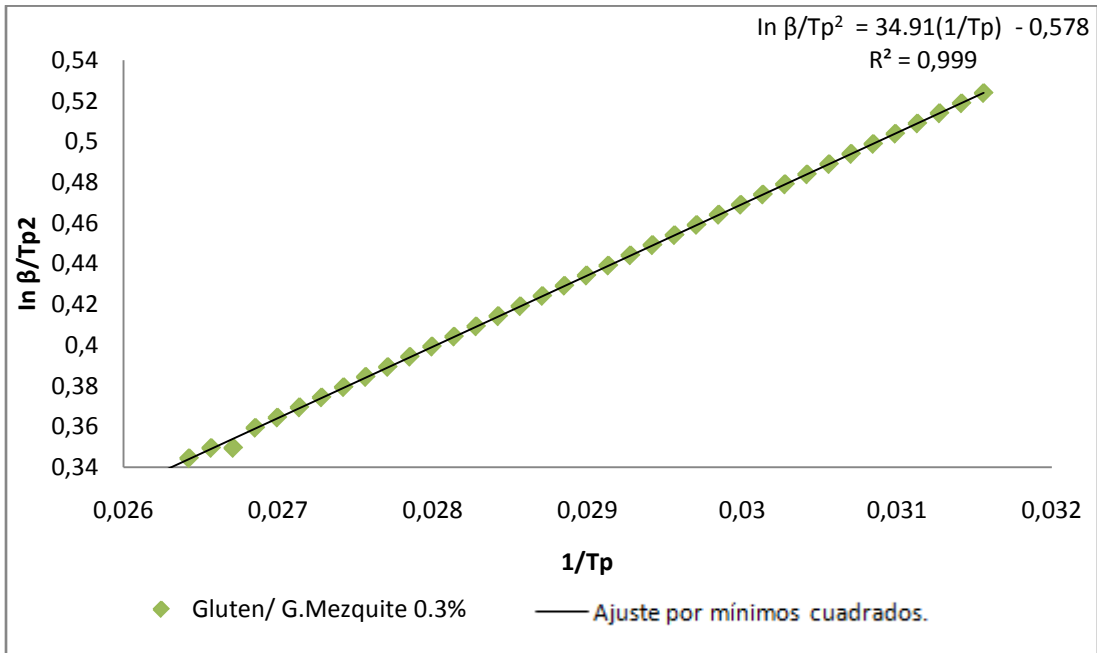


Gráfica No. 55. Método de Kissinger para obtener la energía de activación al 0.7% de grenetina.

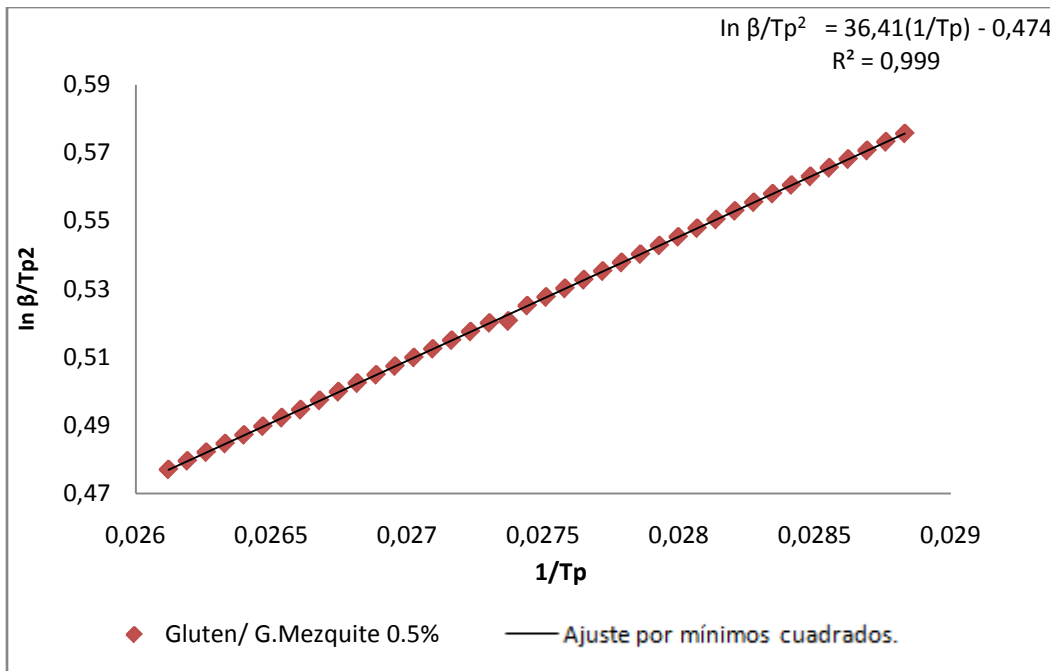


INTERACCION GLUTEN- GOMA DE MEZQUITE.

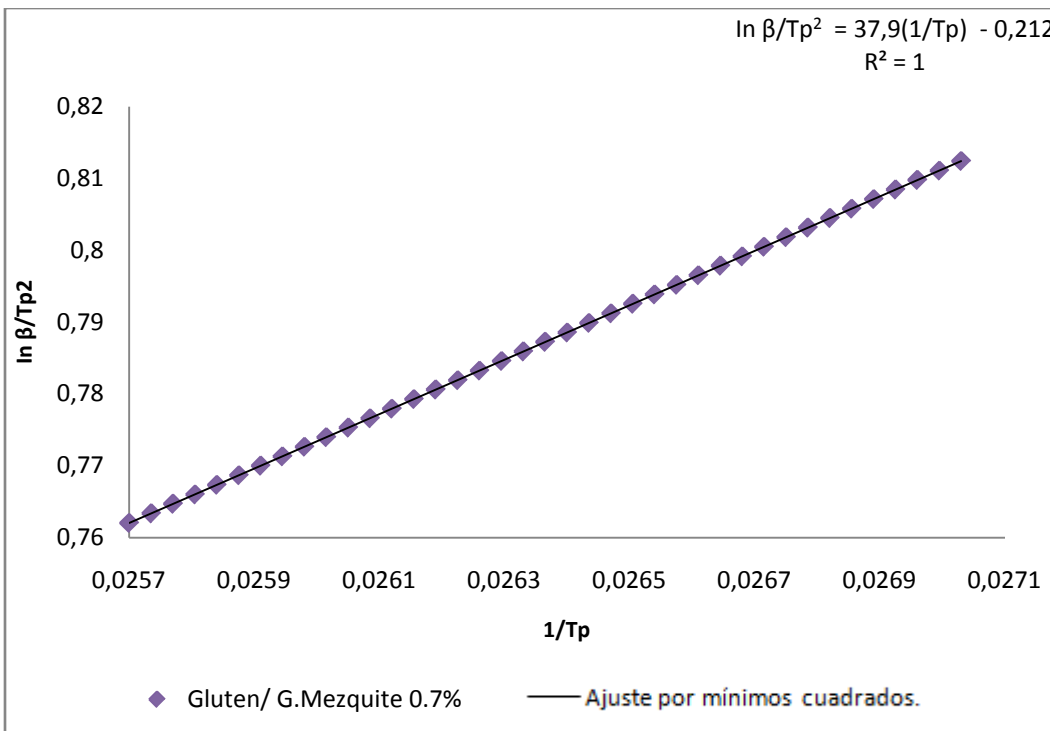
Gráfica No. 56. Método de Kissinger para obtener la energía de activación al 0.3% de goma de mezquite.



Gráfica No. 57. Método de Kissinger para obtener la energía de activación al 0.5% de goma de mezquite.

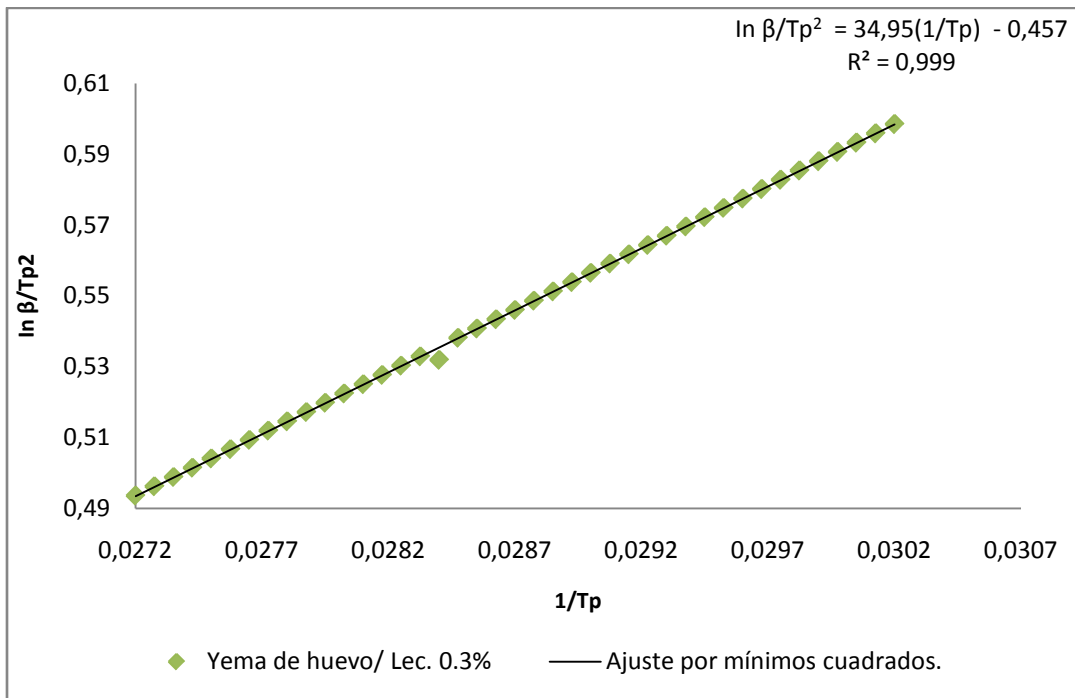


Gráfica No. 58. Método de Kissinger para obtener la energía de activación al 0.7% de goma de mezquite.

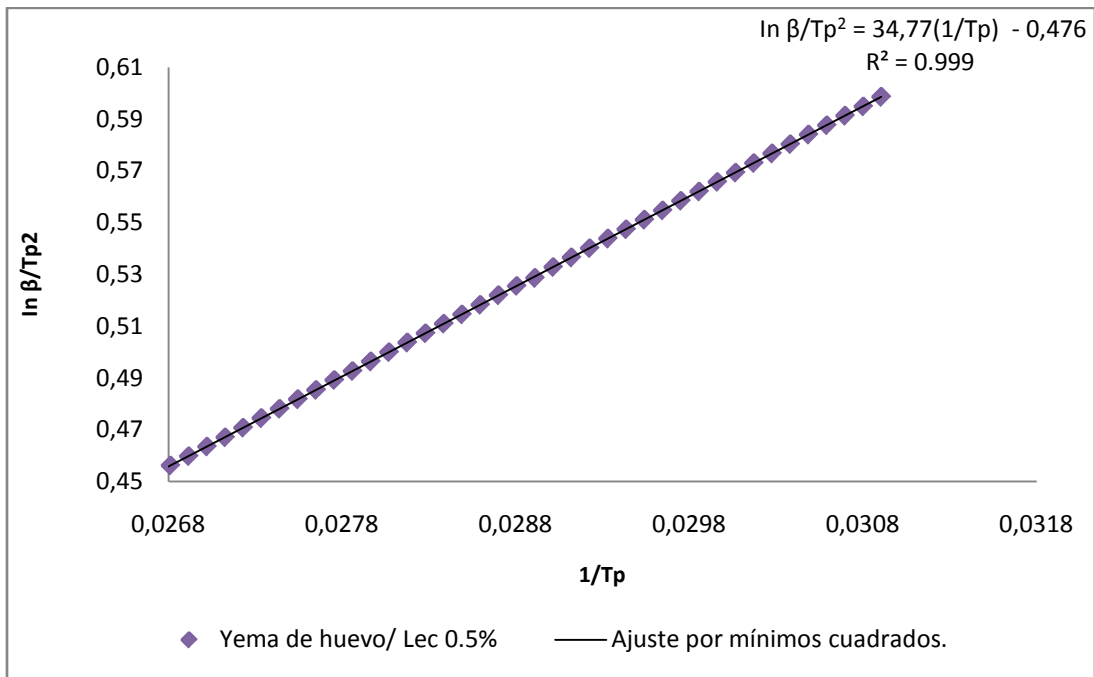


INTERACCION YEMA DE HUEVO- LECITINA DE SOYA.

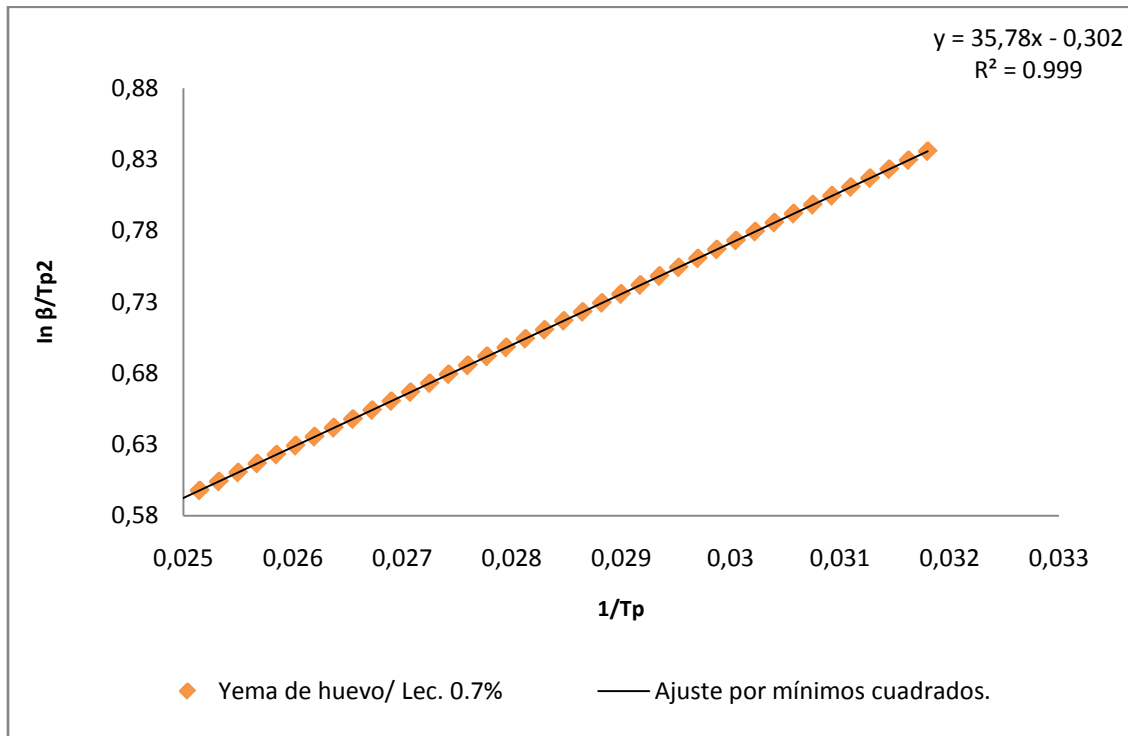
Gráfica No. 59. Método de Kissinger para obtener la energía de activación al 0.3% de lecitina.



Gráfica No. 60. Método de Kissinger para obtener la energía de activación al 0.5% de lecitina.



Gráfica No. 61. Método de Kissinger para obtener la energía de activación al 0.7% de lecitina.



BIBLIOGRAFÍA

1. Academia del área de plantas piloto.2004.Introducción a la tecnología de alimentos 2da Ed. Limusa. México .
2. Alegre, M.T; Mesas, J.M.2002.El pan y su proceso de elaboración. Ciencia y tecnología alimentaria. Vol. 3 /005 p.p.307-313.
3. Atkins, P. 2006. Physical Chemistry. Oxford O.P.
4. Badui, D.S. 1993. Química de los alimentos 3^{ra} Ed. Pearson. México.
5. Bello, G.J. 2000. Ciencia bromatológica principios generales de los alimentos 3^{ra}Ed. Díaz de Santos. Madrid España.
6. Biliaderys, C.G; MauriceT.J. 1980. Starch gelatinization phenomena studied by differential scanning calorimetry. Journal of Food Science. Vol 45 p.p. 1669-1674.
7. Calaveras, J. 2004. Nuevo tratado de panificación y bollería. AMV/MUNDI/PRENSA. España.
8. Callejo, M.J. 2002. Industria de cereales y derivados. AMV/MUNDI/PRENSA. Madrid.
9. Campbell, M.K. 2005. Bioquímica. Thomson. México.
10. Carter, E.J.; Sherman, P. 1981. Rheological Properties of Mesquite gum films at the oil-water interface. Journal of Dispersion Science and Technology. Vol. 2 p.p. 399-413.
11. Castro, M.; Díaz, A.M.; Mohan, K.M. 2001. Estrategias y metodologías utilizadas en el mejoramiento de trigo: "Un enfoque multidisciplinario". LIMMYT/INIA. URUGUAY p.p. 409.
12. Chang, R. 1999. Química. Mc Graw Hill. México.
13. CODEX STAN. 1995. Norma del CODEX para la harina de trigo. p.p 152-1985. (Rev 1-1995).
14. Criado, J.M.; Sánchez, P.E. 2008. Critical study of the isoconversional methods of kinetic analysis. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. Vol.91/2 p.p. 511-516.
15. De Man, J.M. 1980. Principles of food chemistry. AVI Publishing Company. EUA.
16. Elder, J.P. 1985. The general applicability of Kissinger equation in thermal analysis. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. Vol.30 p.p. 657-664.
17. Francis, J.F. 2003. Encyclopedia of food science and technology. Wiley& Sons. New York. Vol.2. p.p. 700.
18. Gagliado, S; Jalabera, A; Nechich, D. 2001. Aspectos generales de las dispersiones coloidales. Panamericana. Argentina.
19. Glastone, S. 1982. Elementos de fisicoquímica. Medico Quirúrgica. Buenos Aires.
20. Girón, C.J. 2005. Proteínas alimentarias y coloides de interés industrial. Universidad de Sevilla. España.
21. González, M.R.; Méndez, M.G. 2008. Caracterización morfológica molecular y fisicoquímica del almidón de plátano oxidado y litritnerizado. Scielo Agrociencia. México. Vol. 42-5 p.p. 30-39.
22. Hatakeyama, T; Quinn, F.X. 1994. Thermal Analysis. Wiley & Sons. New York
23. Hartel, W.R.; Hasenhuettl, G.L. 1997. Food Emulsifier and their applications. Springer 2da Ed. EUA.

24. Hortola, P. 1998. Datación por racemización de aminoácidos: principios, técnicas y aplicaciones. Universidad de Barcelona. España.
25. Jagnow, G. 1997. Biotecnología: Introducción con experimentos modelo. Acribia. España.
26. Jiménez, L.F.; Merchant. H. 2003. Biología celular y molecular. Pearson .México
27. Kramer, A.; A.S. Szczesniak. 1973. Texture Measurement of Food. Kluwer. EUA.
28. Levine, I.N. 1996. Fisicoquímica. Mc Graw Hill. España. Vo.1.
29. López, F.Y.; Goycoolea, F.M; Valdez, M.A. 2006. Goma de Mezquite una alternativa de uso industrial. Asociación Interciencia. Caracas Venezuela. Vol. 31/003. p.p. 183-189.
30. Loungen, O.A.; Keneth, M. 2005. Chemical Process Principles- Part II Thermodynamics. John Wiley & Sons. New York. USA.
31. Lumry, P; Eyring, H. 1954. Conformation changes of proteins. Journal of physical chemistry. Vol. 58-2 p.p. 110-120.
32. Maron, S.H. Lando. J.B. 1990. Fisicoquímica fundamental. Limusa. México.
33. Martínez, N.M. 1998. Termodinámica y cinética de sistemas alimento entorno. Universidad Politécnica de Valencia. España.
34. O'Brien, R.D. 2004. Fats and oils formulating and processing for applications. 3^{ra}. Ed. CRC-PRESS. . EUA.
35. Orfa, R.M. 2010. Estructura y función de biomoléculas. Universidad del Rosario. Colombia.
36. Peña, A. 2004. Bioquímica. Limusa. México
37. Privalov, K. 1995. Advances in protein chemistry. Academy Press. Gran Bretaña.
38. Quaglia, G. 1991. Ciencia y tecnología de la panificación. Acribia. España.
39. Rajadell, F.; Movilla, J. 2005. Termodinámica química. Publicacions de la Universitat Javine. Castellón España.
40. Rosenthal, A. 2001. Textura de los Alimentos. Acribia. España.
41. Sánchez de Medina, F. 2005. Bases fisiológicas y bioquímicas de la nutrición. Panamericana. Madrid España.
42. Santana, E.; Vicenti, M. 2011. Tecnología aplicada a productos horneados. Énfasis Alimentación latinoamericana. Vol. XVII-04 p.p. 24-32.
43. Sawyer, C.; Mc Carty, P. 1996. Chemistry for environmental engineering. McGraw Hill. New York.
44. Severns, W.H. Degler, H.E. 2007. Energía mediante vapor, aire o gas. Reverté. Barcelona España.
45. Sherman, P. 1979. Food Texture and Rheology. Academic Press. Gran Bretaña.
46. Szuhaj, B.F. 1989. Lecithins sources, manufacture and uses. American oil chemist's society champaing. Illinois.
47. Tejero, F. 1995. Panadería Española. 2^{da} Ed. Montagod. Barcelona España.
48. Valenzuela, C.C. 1995. Química general "Introducción a la química teórica". Universidad de Salamanca. España.
49. Van Soest, P.J.; Robertson, J.B. 1995. Method for dietary fiber neutral detergent fiber and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. Journal of dairy science. Vol.74. No.10 p.p. 358-359.

50. Velasco, C.; Martínez, A. 2010. Termodinámica técnica. Pressas Universitarias de Zaragoza. España.
51. Velázquez, S.M. 2005. Coloides e Interfases. Universidad de Salamanca. España.
52. Vioque, J.; Clemente, A. 2000. Jornada internacional sobre proteínas alimentarias. I.C. Motril. España.
53. Weiss, T.J. 1983. Food oils and their uses. 2^{da} Ed. AVI. PU. CO.
54. Werner, M.E. 2008. Bioquímica Fundamentos para medicina y ciencias de la vida. Reverté. España.
55. Zamora, C.M. 1998. Estudio de los sistemas termodinámicos. Universidad de Sevilla. España.
56. Zanon, B; Peri, C.; Gianotti, R.1995. Determination of the thermal diffusivity of bread as a function of porosity. Journal of Food Engineering. Vol. 26 (4) p.p. 497-510.