



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTILÁN

Estudio de las características fisicoquímicas y texturales de un
gel de mango en forma de espagueti elaborado con la mezcla de
tres biopolímeros

T E S I S

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERA EN ALIMENTOS

P R E S E N T A N:

WENDY CRUZ JUÁREZ

CYNTHIA HURTADO LÓPEZ

ASESOR (A): I.Q. GUADALUPE FRANCO



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

U.N.A.M.

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
Estudio de las características fisicoquímicas y texturales de un gel de mango en forma de Espagueti elaborado con la mezcla de tres biopolímeros

Que presenta la pasante: Wendy Cruz Juárez
 Con número de cuenta: 304669444 para 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 25 de julio de 2012.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	I.Q. Guadalupe Franco Rodríguez	
VOCAL	Dra. María Eugenia Ramírez Ortiz	
SECRETARIO	L.A. Miriam Edith Fuentes Romero	
1er SUPLENTE	L.A. Alberto Solís Díaz	
2do SUPLENTE	I.Q. Guillermo Martínez Morúa	

NOTA: Los sinodales suplentes están obligados a presentarse a la hora y hora del Examen Profesional (art. 120).
 HHA/mngm



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

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
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**
Estudio de las características fisicoquímicas y texturales de un gel de mango en forma de
Espagueti elaborado con la mezcla de tres biopolímeros

Que presenta la pasante: **Cynthia Hurtado López**
Con número de cuenta: **304868726** para 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 25 de julio de 2012.

PROFESORES QUE INTEGRAN EL JURADO

	NOMBRE	FIRMA
PRESIDENTE	I.Q. Guadalupe Franco Rodríguez	
VOCAL	Dra. María Eugenia Ramírez Ortiz	
SECRETARIO	L.A. Miriam Edith Fuentes Romero	
1er SUPLENTE	L.A. Alberto Solís Díaz	
2do SUPLENTE	I.Q. Guillermo Martínez Morán	

NOTA: Los suplentes están obligados a presentarse el día y hora del Examen Profesional (Art. 120)

ÍNDICE

Contenido	Página
RESUMEN	
INTRODUCCIÓN	
1. ANTECEDENTES	1
1.1 Generalidades de geles	1
1.1.1 Clasificación de geles	3
1.2 Biopolímeros	4
1.2.1 Polisacáridos	4
1.2.1.1 Agar agar	5
1.2.1.2 Xantana	7
1.2.2 Proteínas	11
1.2.2.1 Grenetina	12
1.2.3 Ácidos nucleicos	15
1.3 Características del mango	16
1.4 Fundamento del análisis calorimétrico	17
1.4.1 Termogravimetría (TG)	20
1.4.1.1 Factores que afectan el análisis termogravimétrico	21
1.4.1.1.1 Factores extrínsecos	21
1.4.1.1.2 Factores intrínsecos	23
1.4.1.2 Interpretación de las curvas	24
1.4.2 Análisis térmico diferencial	25

1.5 Fundamento de la prueba de penetración	29
1.6 Fundamento de colorimetría (CIE L, a y b)	31
1.6.1 Características del color	32
1.6.2 Funcionamiento del colorímetro	34
1.7 Pruebas sensoriales	35
1.7.1 Pruebas afectivas	35
2. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL	
2.1 Objetivo general	43
2.2 Actividad preliminar	43
2.3 Actividad 1	48
2.4 Objetivos particulares	49
2.4.1 Objetivo particular 1	49
2.4.2 Objetivo particular 2	50
2.4.3 Objetivo particular 3	51
2.4.4 Objetivo particular 4	51
2.4.5 Objetivo particular 5	52
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	54
3.1 Determinación del pH de cada formulación	54
3.2 Influencia de los biopolímeros en el punto de fusión de los geles	55
3.3 Influencia de la pulpa de mango y el azúcar en cada formulación	57
3.4 Influencia de los biopolímeros en la fuerza de ruptura y dureza de los geles	65

3.5 Influencia de los biopolímeros en el color de los geles	67
3.6 Influencia del tiempo de mezclado en el tamaño de fibra	71
3.7 Pérdida de peso de cada formulación con respecto a la temperatura	73
3.8 Pérdida de peso de los geles a temperatura constante	75
3.6 Prueba hedónica de cada formulación	77
CONCLUSIONES	82
BIBLIOGRAFÍA	84
ANEXOS	89

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estructura del agar-agar	5
Figura 2. Proceso de la formación de la red de geles de agar-agar	7
Figura 3. Estructura de la goma xantana.	8
Figura 4. Conformación de goma xantana en dilución cizallada y ordenada.	10
Figura 5. Modelo propuesto para explicar el sinergismo de la mezcla de biopolímeros en geles.....	11
Figura 6. Termograma de un análisis gravimétrico	21
Figura 7. Influencia de la velocidad de calentamiento en la temp. de la muestra .	22
Figura 8. Principales tipos de curvas termogravimétricas	24
Figura 9. Análisis Térmico Diferencial (DTA).	26
Figura 10. Curva del flujo de calor	27
Figura 11. Curva Fuerza-Deformación.....	31
Figura 12. Diagrama de Cromaticidad, espacio de color L, a y b.....	33
Figura 13. Formato de prueba afectiva de tipo hedónica	37
Figura 14. Escala hedónica con cinco niveles.....	37
Figura 15. Escala hedónica con cuatro niveles	38
Figura 16. Escala hedónica indicada con caritas solas.....	38
Figura 17. Escala hedónica indicada con línea y caritas en los extremos	38
Figura 18 Escala hedónica indicada con línea.....	38
Figura 19. Escala hedónica con línea segmentada y significado en los extremos	39
Figura 20. Diagrama de bloques del proceso de elaboración del gel de mango .	46
Figura 21. Curvas DTA de las siete formulaciones del gel de mango.....	55
Figura 22. Curvas DTA del gel de mango con G 2.35%, A 1.41%, X 0.94% y el gel elaborado únicamente con los biopolímeros.....	58
Figura 23. Curvas DTA del gel de mango con G 2.51%, A 2.04%, X 0.15% y el gel elaborado únicamente con los biopolímeros.....	59
Figura 24. Curvas DTA del gel de mango con G 3.29%, A 1.41%, X 0% y el gel elaborado únicamente con los biopolímeros.....	59
Figura 25. Curvas DTA del gel de mango con G 2.66%, A 1.72%, X 0.32% y el gel elaborado únicamente con los biopolímeros.....	60

Figura 26. Curvas DTA del gel de mango con G 2.35%, A 2.35%, X 0% y el gel elaborado únicamente con los biopolímeros.....	61
Figura 27. Curvas DTA del gel de mango con G 2.5%, A 1.57%, X 0.63% y el gel elaborado únicamente con los biopolímeros.....	61
Figura 28. Curvas DTA del gel de mango con G 2.97%, A 1.57%, X 0.16% y el gel elaborado únicamente con los biopolímeros.....	62
Figura 29. Curvas DTA de cada una de las formulaciones con geles blancos.	63
Figura 30. Curvas de la prueba de penetración de cada formulacion.....	65
Figura 31. Diferencia entre los parámetros L, a y b y la pulpa de mango.	68
Figura 32. Gráfica del Índice de color de las formulaciones y la pulpa de mango.	69
Figura 33. Fotografía de la Pulpa de Mango batida durante 9 minutos.....	71
Figura 34 Fotografía de la Pulpa de Mago batida durante 12 minutos.....	71
Figura 35. Tamaño de fibra de la pulpa de mango.....	72
Figura 36 Índice de color de pulpa de mango cizallado	72
Figura 37. Curva de TGA de las siete formulaciones del espagueti de mango.....	73
Figura 38. Curva TGA del espagueti de mango con formulación 2.....	74
Figura 39. Curva de sinéresis del espagueti de mango a T=8°C	76
Figura 40. Grafica de dulzor del espagueti de mango percibida por los jueces. ...	77
Figura 41. Grafica de Acidez del Espagueti de mango percibida por los jueces...78	78
Figura 42. Grafica del sabor a mango percibido por los jueces.	78
Figura 43. Grafica de dureza del espagueti percibida por los jueces.....	79
Figura 44. Grafica de Brillo percibido por los jueces.	80
Figura 45. Grafica de color amarillo percibido por los jueces.....	81
Figura 46. Gráfica de superficie del punto de fusión.....	89
Figura 47. Gráfica de superficie de la fuerza de ruptura.....	90
Figura 48. Gráfica de superficie de la dureza.....	91
Figura 49. Gráfica de superficie del índice de color.....	92
Figura 50. Gráfica de superficie de sinéresis a 30°C.....	93
Figura 51. Gráfica de superficie de sinéresis a 40°C.....	94
Figura 52. Gráfica de superficie del porcentaje de peso perdido en el 7° día.....	95

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Composición química de la pulpa de mango.....	16
Tabla 2. Principales técnicas de análisis térmico	19
Tabla 3. Materiales estándar recomendados para calibración	28
Tabla 4. Patrones a evaluar en cada una de las sensaciones al realizar una evaluación sensorial.....	40
Tabla 5. Resultados de prueba de puré de tomate	41
Tabla 6. Especificaciones de la grenetina	43
Tabla 7. Especificaciones de goma xantana	44
Tabla 8. Especificaciones de Agar-Agar	44
Tabla 9. Formulación planteada para la elaboración del gel	45
Tabla 10. Concentraciones de biopolímeros de cada una de las fórmulas	48
Tabla 11. Formato utilizado para la prueba de aceptabilidad de 5 niveles.....	53
Tabla 12. Potencial de Hidrógeno de cada una de las formulaciones en cada etapa.	54
Tabla 13. Puntos de fusión de cada una de las formulaciones.	55
Tabla 14. Datos de dureza y fuerza de ruptura de cada una de las formulaciones.	66
Tabla 15. Diferencia en parámetros de color entre pulpa y formulaciones.....	68
Tabla 16. Índice de color de las siete formulaciones y de la pulpa de mango.....	70
Tabla 17. Porcentaje masa perdida de la muestra a temperatura de 30 y 40°C. ...	75

RESUMEN

La gastronomía molecular, definida en 1988 como la aplicación de los principios científicos a la comprensión y la mejora de la preparación de alimentos a pequeña escala por el científico francés Hervé This y por el físico húngaro, Nicholas Kurti; está en constante crecimiento y actualmente, tiene auge no sólo entre los chefs más respetados, sino también en grandes industrias de alimentos, donde la usan para innovar sus preparaciones, ya que al modificar la presentación o forma de un producto se determina la demanda del mismo. En el presente proyecto, se planteó como objetivo la evaluación de las interacciones entre la gretina, el agar y la goma xantana, así como las características que confieren dentro del gel de mango en forma de espagueti, para obtener un producto innovador, estable y aceptado por el mercado. Mediante un diseño de mezclas se determinaron las concentraciones de biopolímeros con las cuales se elaboró cada gel, resultando en 7 formulaciones. A cada formulación se le hizo un análisis térmico diferencial, análisis termogravimétrico, colorimetría, prueba de penetración, pruebas de sinéresis a temperatura constante y análisis sensorial. Los puntos de fusión más altos resultaron de la mezcla de agar y gretina, de igual manera este gel presenta el menor porcentaje de peso perdido a 30°C al igual que a 40°C, a temperatura constante (4°C) obtuvo la menor sinéresis, con la misma combinación se obtuvo la mayor fuerza del gel y la mayor fuerza de ruptura. Con lo que se puede concluir que la combinación de biopolímeros se debe escoger dependiendo de la temperatura a la que se encontrará el gel y la presentación final, por ejemplo si se colocará encima de un helado se podría utilizar únicamente gretina como gelificante, sin embargo si se coloca el espagueti en una crema o sopa agridulce por la temperatura se debería escoger gretina y agar para que el gel tenga un punto de fusión alto. El conocimiento de las propiedades y características del gel de mango, además de ser determinantes en la aceptación por el mercado, también son necesarias para establecer las condiciones de proceso, almacenamiento y aplicación, así como el diseño de envases.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el consumidor se ha caracterizado por buscar alimentos modificados, no solo en su composición, sino con formas o diseños innovadores e incluso formas de preparación inusual, un ejemplo de ello es el helado frito. Al observar dicho fenómeno es interesante desarrollar y estudiar un producto diferente a los que existen en el mercado, como el espagueti de frutas, que es un postre atractivo al consumidor por su peculiar forma e innovadora presentación además de su versatilidad de uso al poderse utilizar como decoración de pasteles, topping de helados, en ensaladas, sopas, cremas, etc.

En este trabajo se presenta la elaboración de un gel de mango en forma de espagueti, en dicho sistema se usaron como agentes gelificantes una proteína: grenetina, un polisacárido ramificado: agar y además un polisacárido ramificado no gelificante, que proporciona viscosidad: xantana.

Se eligió trabajar con grenetina por tratarse de una proteína de bajo costo, fácil de conseguir y que al obtenerse de los huesos y pieles de los animales no escasea a lo largo del año, en cuanto al agar, se escogió por ser un polisacárido con el cual se obtienen geles con elevados puntos de fusión además de que no necesita sales para gelificar, por otro lado la goma xantana puede actuar como estabilizante del gel, atrapando el agua que haya quedado libre para evitar la sinéresis.

Se elaboró este gel utilizando los tres biopolímeros con la finalidad de hacerlo más estable (puntos de fusión altos y baja sinéresis) y con una textura y color adecuados.

En cuanto al sabor del gel, el mango Ataulfo es una buena opción, debido a que éste no presenta un pH muy ácido: 5.9 (con menor pH la estabilidad de los gelificantes disminuye), tiene dulzura agradable, es de bajo costo y cuenta con una mayor porción comestible en comparación con otras especies de mango, además de que su sabor es bien aceptado por la población mexicana.

El objetivo del presente trabajo es estudiar las interacciones entre biopolímeros (agar-agar, grenetina y xantana) y su efecto sobre la estabilidad, el color, la textura, el punto de fusión y la aceptabilidad del gel de mango en forma de espagueti, a través de una prueba de penetración, colorimetría, análisis térmico diferencial, análisis termogravimétrico y pruebas sensoriales, de manera que se obtenga un producto estable, con un punto de fusión elevado, que resista su manipulación y con un color semejante al de la pulpa de mango.

1. ANTECEDENTES

1.1. GENERALIDADES DE GELES

Los geles tienen mucha importancia en la industria de los alimentos por sus características, y se estudian por ser comúnmente la solidificación de un sol. Un gel es una matriz o red de macromoléculas interconectadas que atrapan e inmovilizan a la fase líquida en sus espacios. Los geles presentan varios grados de rigidez y elasticidad y muestran estructuras semisólidas y sólidas. La viscosidad empieza a incrementarse como producto de la gelificación y el solvente (líquido) es absorbido por el soluto hinchado (sólido) y es gradualmente inmovilizado; conforme el proceso continúa, una red tridimensional, que contiene porciones enredadas de agua, se construye poco a poco. Varios fragmentos de polímero gelificante continúan reaccionando y finalmente forman una larga estructura continua. En esta etapa la rigidez del sistema llega a ser aparente, partes de largas cadenas moleculares en la red pueden seguir reaccionando con otras por enlaces cruzados para fomentar el incremento de rigidez de la estructura completa (Badui, 2006).

Cuando las condiciones son favorables para dar lugar a la gelificación, un progresivo mecanismo de unión toma lugar, no importando la naturaleza exacta de las fuerzas de unión.

Largas y largas cadenas de aglomerados asociados se forman hasta alcanzar un punto crítico donde los largos aglomerados alcanzan el volumen completo de la muestra. Después la red inicial es progresivamente reforzada por incorporación de un aumento del material dentro de la fase del gel, aumentando las propiedades elásticas, dicho material puede contener compuestos poliméricos con enlaces no cruzados (Imeson, 1999).

Los tipos de enlaces cruzados que pueden formarse dependen de las propiedades químicas de los grupos constituyentes en los polímeros que forman la matriz del gel y las condiciones químicas que existen en el sistema. El mecanismo de enlaces cruzados más común en geles alimenticios son los siguientes:

- 1) Enlaces hidrógeno entre grupos carboxilos no ionizados.
- 2) Enlaces electrovalentes, como los que hay entre grupos carboxilo negativos (COO-) de moléculas adyacentes o dentro de la misma molécula, algunas veces con la ayuda de puentes de cationes bivalentes como el Ca 2+
- 3) Enlaces covalentes directos (Glicksman, 1982).

La formación del gel ocurre únicamente sobre la concentración mínima, C_0 , la cual es específica para cada polímero. Bajo C_0 se da la precipitación con frecuencia. Las propiedades individuales de los geles varían considerablemente en dureza y elasticidad debido a la diferencia en el número y naturaleza de las zonas de unión y el grado de agregación de las cadenas (McKena, 2003).

Algunos geles pueden ser fundidos, es decir, retornar a una dispersión tipo sol, gracias a la adición o eliminación de energía térmica, y a estos se les denomina termorreversibles. La grenetina o los geles de agar son ejemplos de geles termorreversibles. Existen también los geles termoirreversibles, formados al entrecruzar cadenas con cationes divalentes, como es el caso de la mezcla de alginato y pectina de bajo metoxilo y algunos embutidos cárnicos.

Un sol puede transformarse en un gel por medio de mecanismos físicos y químicos. Los agentes físicos pueden ser energía térmica, mecánica y altas presiones, mientras que los agentes químicos que se pueden adicionar para inducir la gelificación son: 1) iones, como el calcio; 2) ácidos orgánicos e inorgánicos; 3) enzimas, como la transaminasa bacteriana, utilizada en productos a base de surimi (Badui, 2006).

Aunque la mayoría de los geles absorbe agua, algunos de ellos liberan parte de su fase líquida, sin importar la presión de vapor que se ejerza sobre ellos. A este fenómeno se le denomina sinéresis. El líquido liberado en la sinéresis es generalmente un sol diluido. La sinéresis en geles se ve influida por varios factores: 1) es afectada por el pH del sistema y en el caso de que el polímero gelificante sea una proteína, la sinéresis alcanza su máximo punto cuando se presenta el punto

isoeléctrico de la proteína, punto en el cual la carga neta es igual a cero; 2) la temperatura a la que se mantiene el gel puede acelerar la sinéresis; 3) la presión ejercida sobre el gel; 4) la naturaleza de la fase dispersa.

Lo opuesto a la sinéresis es la imbibición. Muchas sustancias sólidas al ponerse en contacto con agua comienzan a absorberla, aumentando su volumen. La tasa de imbibición generalmente disminuye con el tiempo de contacto entre un gel y el agua. Geles de grenetina o de agar, al ponerse en contacto con agua a temperaturas mayores de 35°C, presentarán tal grado de imbibición que después de un incremento significativo en su volumen pasarán a la termorreversibilidad y mostrarán licuefacción (Badui, 2006).

1.1.1. CLASIFICACIÓN DE GELES

Se pueden distinguir dos clases de geles: “geles verdaderos” y “geles débiles”, dependiendo de su comportamiento macroscópico.

Como regla general un “gel verdadero” podría sostenerse libremente y surgir de una red tridimensional. En contraste para un “gel débil” la naturaleza sólida es menos clara cuando este se somete a altos esfuerzos y tiende a fluir.

Otra clasificación de geles ha sido propuesta por Clark & Ross-Murphy (1987), en donde se hace una distinción entre redes formadas por gelación de polímeros como: grenetina, carragenina, alginatos, pectina, amilosa y almidón, y sistemas que involucran interacciones específicas entre partículas densas y menos flexibles.

Para la primera categoría la transición se induce por disminución de la temperatura (gelatina, carragenina), ó por cambio de la composición del solvente y adición de iones específicos (alginatos, pectinas poco metoxiladas). Estos geles son homogéneos a nivel molecular y son descritos como redes asociadas (Clark *et al.*, 1990).

En el segundo caso la transición se induce por aumento de la temperatura (geles de proteína desnaturalizada) o por medios enzimáticos (cuajo en la leche) y surgen de la agregación mecánica de los polímeros.

En el presente se estudiaron geles dentro de la primera clasificación, es decir redes asociadas, los cuales gelifican en frío al añadir biopolímeros con la propiedad funcional de gelificar.

1.2. BIOPOLÍMEROS

Los biopolímeros son macromoléculas con alto peso molecular de origen natural, formadas por la unión repetida de una o varias moléculas, llamadas monómeros, unidas por enlaces covalentes y presentan estructuras mucho más complejas en comparación con la de los polímeros sintéticos (Phillips & Williams, 2000). Dentro de los biopolímeros se encuentran los polisacáridos o carbohidratos, las proteínas y los ácidos nucleicos.

1.2.1 POLISACÁRIDOS

Los polisacáridos, cuyos monómeros son conocidos como monosacáridos, se unen mediante enlaces glucosídicos. La cadena puede ser lineal, ramificada o entrecruzada y de esto dependerá su funcionalidad (Whitney, 1977).

Los polisacáridos estructurales como la celulosa y la quitina son lineales y así presentan mayor superficie de interacción con otras moléculas. Como poseen grupos hidroxilo, forman muchas uniones por puentes de hidrógeno con las cadenas vecinas. A mayor número de uniones intermoleculares, mayor es la resistencia del polímero y se puede apreciar en la dureza de la corteza de los árboles formada por celulosa y en el caparazón de los crustáceos constituidos por capas de cadenas lineales de quitina que se entrecruzan para lograr resistencia adicional. Los polisacáridos de reserva energética como el glucógeno y el almidón son ramificados, así evitan que los polímeros se unan entre sí y se hagan insolubles y formen depósitos, fibras o agujas que podrían dañar a la célula (Imeson, 1999).

La forma de unión de los monómeros en los polímeros resulta en dos formas. Si son lineales son insolubles y si son ramificados o entrecruzados son solubles.

Las propiedades de los polisacáridos varían dependiendo de su estructura, de si existen o no ramificaciones y la longitud de las mismas, por lo que se presentan a continuación las características de cada uno de los polisacáridos evaluados.

1.2.1.1 AGAR-AGAR

En su estado natural, el agar-agar se presenta como un polisacárido estructural de la pared celular de las algas agarofitas (de la especie de *Gelidium* y *Gracilaria*), donde existe en la forma de sales de calcio o de una mezcla de sales de calcio y magnesio (McKena, 2003). Es una mezcla compleja de polisacáridos compuesta por dos fracciones principales: la agarosa, un polímero neutro, y la agarpectina, un polímero con carga sulfatada.

La agarosa, fracción gelificante, es una molécula lineal neutra, esencialmente libre de sulfatos, que consiste en cadenas repetidas de unidades alternadas β -1,3 D-galactosa y α -1,4 3,6-anhidro-L-galactosa. La agarpectina, fracción no-gelificante, es un polisacárido sulfatado (3% a 10% de sulfato) compuesto de agarosa y porcentajes variados de éster sulfato, ácido D-glicurónico y pequeñas cantidades de ácido pirúvico. La proporción de estos dos polímeros varía de acuerdo con la especie del alga, y la agarosa representa normalmente, por lo menos dos tercios del agar-agar natural (Labropoulos *et al.*, 2002).

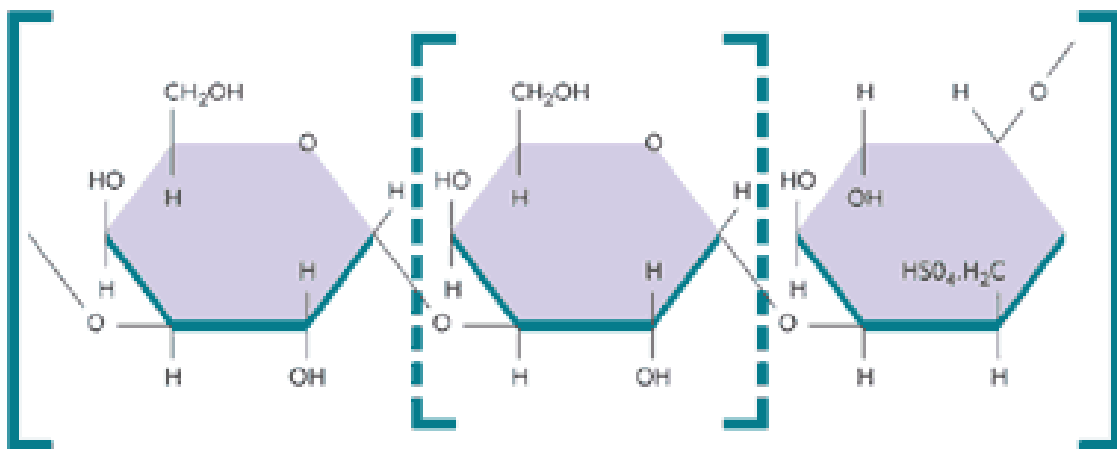


Figura 1. Estructura del agar-agar (www.agargel.com.br, 2010)

SOLUBILIDAD

El agar-agar es insoluble en agua fría pero se expande considerablemente y absorbe una cantidad de agua de hasta veinte veces su propio peso. La disolución en agua caliente es rápida y puede observarse la formación de un gel firme a concentraciones tan bajas como 0.5%. El agar-agar en polvo seco es soluble en agua y otros solventes a temperaturas de 95° a 100° C (www.agargel.com.br, 2010).

ESTABILIDAD

Una solución de agar-agar posee una carga negativa. Su estabilidad depende de dos factores: hidratación y carga eléctrica. Las soluciones de agar-agar expuestas a altas temperaturas durante períodos prolongados pueden degradarse, lo cual resulta en la disminución de la fuerza de gel después de la disminución de la temperatura y de la formación de éste (Phillips & Williams, 2000).

GELIFICACIÓN

La fracción gelificante del agar-agar, es decir la agarosa, posee una estructura de doble hélice. Esta estructura se reúne para formar una estructura tridimensional que retiene las moléculas de agua en sus intersticios y forma, así, geles termorreversibles. La propiedad de gelificación del agar-agar es debida a los tres átomos de hidrógeno ecuatorial en los residuos de 3,6-anhidro-L-galactosa, que limitan la molécula para formar una hélice (www.agargel.com.br, 2010).

Las cadenas de agar-agar se van agregando formando una red tridimensional de interacciones entre las dobles hélices conectadas por las zonas de unión, formando un gel muy firme. La asociación entre cadenas ocurre por la agregación lateral a través de puentes de hidrógeno, es decir, por entrecruzamiento “físico” (Figura 2). La estructura a gran escala de la red del gel es aún poco estudiada. La presencia de enlaces no covalentes complica la descripción física de las propiedades de la red considerablemente, debido a que el número y posición de los enlaces cruzados pueden fluctuar con respecto al tiempo y la temperatura (Deriu *et al.*, 1993).

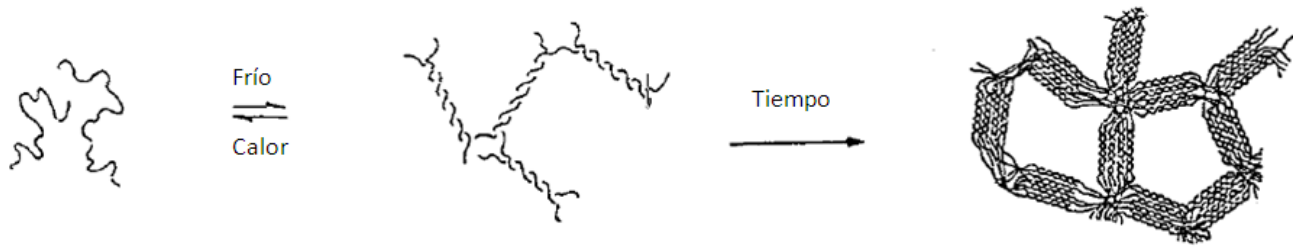


Figura 2. Proceso de la formación de la red de geles de agar-agar (Deriu et al., 1993)

El gel de agar-agar puede ser obtenido en soluciones muy diluidas que contengan una fracción de 0,5% a 1,0% de agar-agar. La gelificación ocurre a temperaturas muy inferiores a la temperatura de fusión. Una solución de 1,5% de agar-agar forma un gel al ser enfriado para una temperatura de 32° a 45° C y la fusión de tal gel no ocurre a temperaturas inferiores a 85° C. Este intervalo de histéresis es una propiedad moderna del agar-agar que encuentra una variedad de usos en aplicaciones alimentarias. La fuerza de gel del agar-agar es influenciada por los factores concentración, tiempo, pH y contenido de azúcar. El pH afecta notablemente la fuerza de gel del agar-agar: la disminución del pH disminuye la fuerza de gel. El contenido de azúcar también tiene un efecto considerable sobre el gel de agar-agar, pues su aumento resulta en un gel con mayor dureza pero con menor cohesión (Imeson, 1999).

1.2.1.2 XANTANA

La goma xantana es un polisacárido, secretado por *Xanthomonas campestris*, un patógeno de las coles. Su estructura está formada por un esqueleto de unidades de D-glucopiranososa y están subunidas entre sí por enlaces β (1-4), idénticos a los presentes en la celulosa. Una de cada dos glucosas se encuentra unida por un enlace α 1-3 a una cadena lateral formada por dos manosas con un ácido glucurónico entre ellas. Alrededor de la mitad de las manosas terminales de la cadena lateral están unidas a un grupo de piruvato, y el 90% de las manosas más próximas a la cadena central están acetiladas en el carbono 6. Su peso molecular es muy elevado, del orden de un millón (García-Ochoa et al., 2000).

La goma xantana, descubierta en 1950, es el segundo polisacárido después del dextrano en ser comercialmente explotado y hoy en día se ha encontrado una extensa aplicación en la industria de los alimentos, debido a que no es tóxico (McKena, 2003). La FDA de Estados Unidos lo aprobó en 1969 como aditivo alimentario sin ningún límite específico de cantidad. En 1980 la comunidad económica Europea agregó a la goma xantana a la lista de emulsionantes/estabilizantes alimentarios permitidos con el número de ítem E-415.

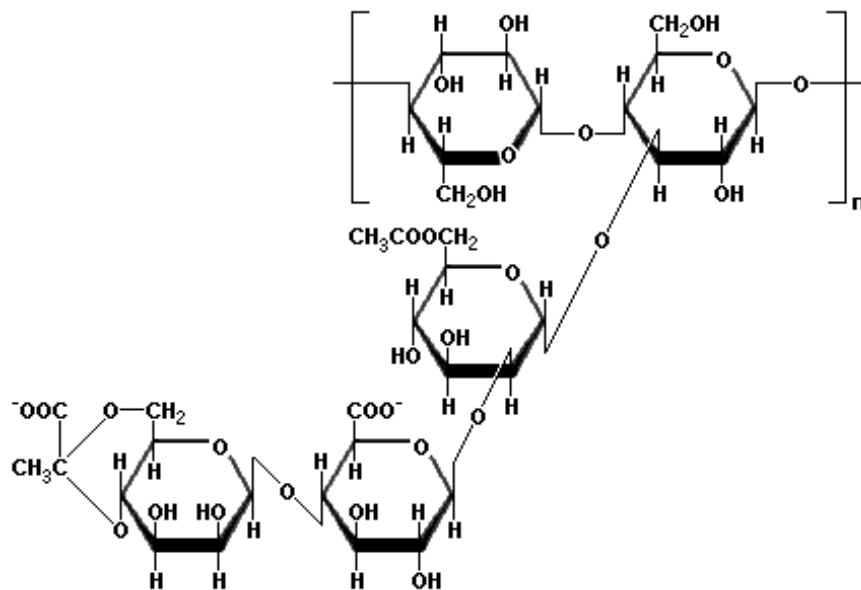


Figura 3. Estructura de la goma xantana.

(www.bedri.es/Libreta_de_apuntes/G/GO/Goma_xantana.htm 2010)

SOLUBILIDAD

La goma xantana se dispersa en agua a temperaturas entre 20 y 35°C. Para hidratar apropiadamente, las partículas de la goma deben dispersarse bien, una mala dispersión traerá consigo la aglutinación y la formación de nódulos hinchados. Muchos nódulos evitan la hidratación completa y reducen la funcionalidad de la goma xantana. Un método para la correcta dispersión es el mezclar la goma xantana con otro ingrediente en la formulación como es el azúcar o el almidón, manteniendo las partículas de goma separadas (Sworn, 2009).

Las soluciones de goma xantana son altamente pseudoplásticas, es decir, incluso después de aplicar una alta velocidad de corte la viscosidad inicial es restablecida inmediatamente. Esta propiedad mejora las características sensoriales (sensación en la boca, resabio, etc.) en los productos terminados y garantiza un mejor mezclado, bombeo y vertido (García et al., 2000).

Las soluciones de goma xantana son resistentes a las variaciones de pH, son estables en condiciones alcalinas o ácidas. A pH de 1 a 13 la viscosidad es prácticamente constante, a pH de 9 o mayor la xantana es gradualmente desacetilada, pero esto no afecta a las propiedades de la solución (Sharma *et al.*, 2006).

FUNCIONALIDAD

La goma xantana es un polisacárido no gelificante (Williams *et al.*, 1994), sin embargo, existe sinergismo con la goma konjac y goma algarrobo, formando geles altamente elásticos y termorreversibles (McKena, 2003).

En soluciones acuosas, la estructura de la xantana es sometida a una transición inducida térmicamente, de hélice a una conformación desordenada. Esta conformación depende de la fuerza iónica, la naturaleza de los electrolitos, el pH y el contenido de acetil y piruvato (Holzwarth, 1976). A alta temperatura y baja fuerza iónica, la xantana está en solución con una estructura desordenada, pero al reducir la temperatura y/o al añadir sales, es inducida a una estructura ordenada de doble hélice. A temperatura ambiente la estructura se encuentra muy extendida debido a las repulsiones electrostáticas de los grupos de las cadenas laterales, lo que ocasiona la alineación de las moléculas y su asociación por puentes de hidrógeno, formando un material con estructura débil, es decir, espesa o con alta viscosidad (Rocheffort & Middleman, 1987).

En una solución de xantana después de haber sido cizallada y entrar en estado de reposo ocurre una reordenación en la cual la cadena principal adquiere una estructura helicoidal y las cadenas laterales de los trisacáridos giran hacia la

cadena principal y estabilizan la conformación ordenada como se muestra en la Figura 4 (Mullaer *et al.*, 1986).

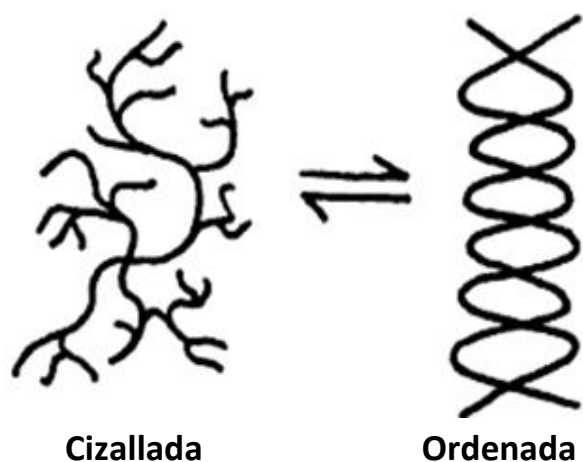


Figura 4. Conformación de goma xantana en dilución cizallada y ordenada. (Mullaer *et al.*, 1986)

La goma xantana a causa de su estabilidad térmica es usado como espesante y estabilizante en muchos alimentos enlatados. En alimentos espesados con almidón y congelados, la adición de xantano mejora en gran medida la estabilidad frente a congelación-descongelación y disminuye la tendencia a la sinéresis (Fennema, 1993). La goma xantana dentro de un sistema macromolecular atrapa el agua libre impidiendo su movilidad o migración, esto en un sistema como los geles se traduce en estabilidad, es decir, una baja sinéresis (Harrington & Morris, 2009).

La goma xantana puede combinarse con distintos biopolímeros para mejorar la funcionalidad de estos; en el caso de sistemas como los geles, la doble hélice de la goma xantana interactúa con las cadenas no sustituidas de otros biopolímeros creando un sinergismo, lo anterior se muestra en la Figura 5, las cadenas laterales del biopolímero que interactúa con la goma xantana no participan en la unión (Ledward, 2000).

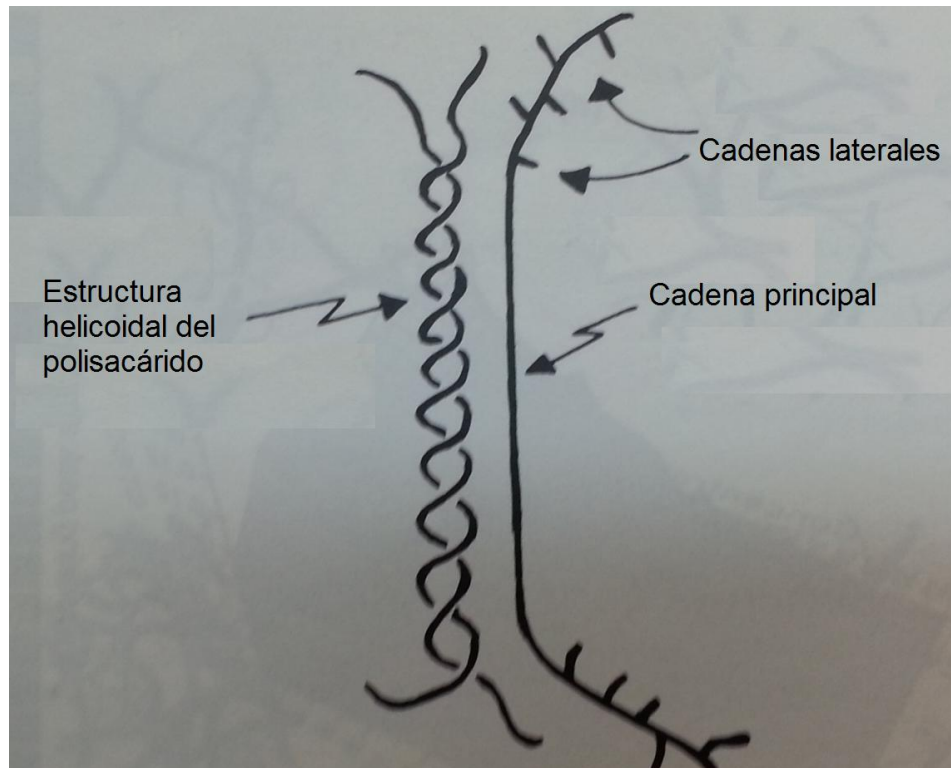


Figura 5. Modelo propuesto para explicar el sinergismo de la mezcla de biopolímeros en geles. (Ledward, 2000)

1.2.2 PROTEÍNAS

Las proteínas son polímeros de elevado peso molecular, formados por la unión de unidades básicas llamadas aminoácidos. Los aminoácidos son compuestos orgánicos que se caracterizan por poseer un grupo funcional carboxilo y un grupo funcional amino. Estas moléculas en medio acuoso son bipolares, lo que les permite comportarse tanto como ácidos o bases, esto según el pH del medio en que se encuentren. Los aminoácidos son solubles en agua y cristalizables. La unión entre sí de dos aminoácidos se produce al reaccionar el grupo amino de uno de ellos con el grupo carboxilo del otro, formando un enlace con pérdida de agua. El enlace formado recibe el nombre de peptídico (Williams et. al., 1994).

Los ácidos nucleídos y las proteínas, poseen monómeros con una estructura similar entre ellos, pero no iguales, es aquí donde se ve la diversidad de la vida.

Estructura de las Proteínas

La estructura de las proteínas juega un papel muy importante en la funcionalidad de estas biomoléculas. Existen cuatro tipos de estructuras:

- Estructura Primaria.- corresponde a la secuencia de aminoácidos que forman la proteína.
- Estructura Secundaria.- corresponde a la disposición espacial de la proteína. Se producen enlaces por puentes de hidrógeno entre los grupos funcionales induciendo así a la formación de cadenas en espiral, alfa hélice o zig-zag, o cadenas plegables beta, lo que produce una conformación estable.
- Estructura Terciaria.- se produce al interaccionar restos de aminoácidos que contienen azufre y que se encuentran alejados dando lugar a estructuras asimétricas. La forma adquirida es fundamental para la actividad biológica de la proteína.
- Estructura Cuaternaria.- está constituida por la unión de varias cadenas polipeptídicas (Clark & Ross-Murphy, 1987).

A continuación se presentan las características de la grenetina, que es la proteína evaluada en el presente proyecto.

1.2.2.1 GRENETINA

La grenetina es una sustancia sólida, translúcida, incolora y quebradiza, casi insípida, que es el resultado de la desnaturalización del colágeno, un compuesto extraído de los huesos y pieles animales, principalmente del cerdo y la res, la cual a través de una serie de procedimientos, es separado de la grasa. (Alfaro *et al.*, 2005).

El colágeno es la principal proteína estructural del reino animal, produce grenetina cuando sufre desnaturalización térmica. La grenetina es un importante biopolímero con numerosas aplicaciones debido a sus propiedades únicas para formar geles termorreversibles (Alfaro *et al.*, 2005).

El colágeno contiene un aminoácido muy inusual, la hidroxiprolina, la cual se encuentra en casi ninguna otra proteína (Ward & Courts, 1977). El contenido de prolina e hidroxiprolina en la gretina es acerca del 25%. La estructura primaria del colágeno, y de la gretina derivada de éste, se basa en la secuencia repetitiva, la cual puede ser escrita como gli-X-Y; la prolina se encuentra predominantemente en la posición X, mientras que la hidroxiprolina en la posición Y; otros aminoácidos pueden adquirir cualquiera de las dos posiciones. En el colágeno, cada molécula tiene tres cadenas péptidas unidas por enlaces covalentes entrelazadas en triple hélice. La estructura de triple hélice depende de la presencia de glicina cada tercera posición en la cadena peptídica; la glicina es el aminoácido más pequeño; su cadena lateral es un átomo de hidrógeno, el cual está localizado en el núcleo de la hélice, de forma tal que no se puede acomodar una cadena más larga (Imeson, 1999).

La composición aproximada de aminoácidos en la gretina es: glicina 26%, alanina y arginina están en una proporción de 1:1 y juntas forman el 20%, al igual que el ácido glutámico e hidroxiprolina pero éstos forman el 22% aproximadamente, prolina 14%, lisina 5%, valina, leucina y serina 2% e isoleucina, treonina y otros 1% (www.solucionespracticas.org.pe, 2010).

Todas las gretinas poseen composición química similar, pequeñas cantidades de sales minerales y proteína pura de tejido conectivo. Pero dependiendo de la materia prima y del tratamiento preliminar empleado, se pueden obtener varios tipos de gretina con diferentes propiedades como distinto punto isoeléctrico y gran variedad de grados Bloom:

- El punto isoeléctrico (pI), pH en el cual la carga neta es cero, es diferente para cada tipo de gretina, de cerdo tipo A, su pI es igual a 9 y la de res tipo B su pI está entre 4.7 a 5.2 (Phillips & Williams, 2000).
- Los grados Bloom es el peso en gramos necesario para aplicar sobre una superficie de un gel por medio de un pistón de 12,7 mm de diámetro para deprimir 4mm la superficie de un gel. El gel debe tener una concentración

del 6,67% de grenetina, esta medida es realizada 18 horas después de que el gel ha sido almacenado a 10 °C. Los valores oscilan entre 30 a 300 grados Bloom. Los productos comerciales normalmente tienen valores Bloom entre 50 y 280. Existe una correlación entre la fuerza del gel y la concentración de la grenetina, siendo posible, en la práctica, producir cualquier grado de dureza necesario en un gel con cualquier tipo de Bloom, solamente cambiando su concentración (Karim & Bhat, 2008).

Las propiedades del gel también son determinadas por los parámetros del proceso, concentración de la grenetina, pH, tiempo y temperatura de almacenamiento, entre otros (Alfaro *et al.*, 2005).

SOLUBILIDAD

La grenetina es un producto prácticamente insípido, inodoro e incoloro aunque tiende a un color pardo anaranjado la de menor calidad. Es insoluble en agua fría, en la cual sólo se hidrata, y se dispersa cuando el agua se calienta aproximadamente a 71°C (Imeson, 1999).

Es soluble en polialcoholes y propilenglicol e insolubles en solventes orgánicos como bencenos, acetona, éter y tetracloruro de carbono (Ockerman & Hansen, 2000).

ESTABILIDAD

La estabilidad dependerá en gran medida del punto de fusión, el cual está en función del enlace más fuerte en el gel, mientras que la rigidez a una temperatura dada depende del aumento total de enlaces existentes (Ockerman & Hansen, 2000).

La estabilidad de la triple hélice disminuye al reducir el contenido de prolina e hidroxiprolina. En grenetinas obtenidas a partir de la piel del pescado, la transición espiral-hélice y hélice-espiral se da a temperaturas bajas. Sin embargo se ha demostrado que la fuerza del gel depende de la concentración de hélices (fracción de hélices x concentración de grenetina), al peso molecular, a la adición de co-

solutos, de las condiciones tiempo-temperatura bajo las cuales las redes fueron formadas y no de la procedencia biológica (Joly-Duhamel *et al.*, 2002).

GELIFICACIÓN

Los biopolímeros naturales de alto peso molecular, como es la gretina, son los responsables de proporcionar una matriz macromolecular con resistencia cohesiva la que a su vez depende de la estructura del polímero, masa molecular, geometría y la distribución espacial de sus grupos funcionales (Glicksman, 1982).

En soluciones arriba de los 40°C aproximadamente, la estructura se presenta en forma de espirales pero al enfriar las cadenas tienden a ordenarse en forma similar al colágeno, es decir, como triple hélices, formando geles translucidos y elásticos (McKena, 2003).

Las zonas de unión de la red del gel tienen una estructura de triple hélice similar a la del colágeno (Stainsby, 1977), pero dos de las cadenas provienen de una molécula de gretina y la tercera de una diferente molécula (Busnel *et al.*, 1988). Esta transición es un proceso lento y continuo, aumentando la fuerza del gel.

1.2.3 ÁCIDOS NUCLEICOS

Los ácidos nucleicos se constituyen de nucleótidos como unidad estructural y presentan diferentes niveles de organización estructural:

- Estructura Primaria.- es la secuencia de nucleótidos de una sola cadena o hebra, se pueden presentar como un simple filamento extendido, o bien como algo doblado en sí mismo.
- Estructura Secundaria.- es la disposición espacial de dos hebras de polinucleótidos antiparalelos complementarios y enrollados una sobre otra en una doble hélice. La flexibilidad y estabilidad de la estructura en doble hélice del ADN se deben a la complementariedad de sus dos hebras y al gran número de interacciones que se establecen entre ellas por puentes de hidrógeno.

- Estructura Terciaria.- corresponde a los diferentes niveles de empaquetamiento de la doble hélice del ADN, para formar los cromosomas, generalmente se asocia el ADN con proteínas especiales para lograr mayor grado de compactación para conseguir que estas gigantescas moléculas quepan dentro del núcleo (Arboledas, 2000).

1.3 CARACTERÍSTICAS DEL MANGO

El mango (*Mangifera indica L*) es una fruta normalmente de color verde en un principio, y amarillo o naranja cuando está madura, de sabor ácido cuando no ha madurado y dulce cuando es un fruto maduro. De origen asiático, principalmente de la India y comprende numerosas variedades, entre ellas el “mango Ataulfo” (*M. caesia*). Se caracteriza por que su pulpa es dulce, baja en fibra, muy jugosa, baja en acidez y de aroma intenso; puede conservar su sabor incluso después de su madurez. El pH de la pulpa oscila entre 5.5 y 6 en estado de madurez y la acidez es de 0.7-1.2%. El fruto pesa alrededor de 350 g; resistente al manejo post-cosecha; el 69% de su peso es pulpa, cuya composición química se muestra en la Tabla 1, el 19% es cáscara y el 8,5% es el hueso (Novelo, 2006).

Tabla 1. Composición química de la pulpa de mango (Morreiras et al., 2006)

Componentes	(%)
Agua	81.9
Proteínas	0.7
Lípidos	0.2
Hidratos de Carbono	14.1
Fibra	2.9
Cenizas	0.2

El mango ocupa el tercer lugar en cuanto a superficie sembrada en México dentro de los frutales, siendo el café el principal, seguido de la naranja (SAGARPA-SIAP, 2007-2008). Es uno de los productos con más alto potencial económico en el extranjero y representa para México una importante fuente de divisas. Se

obtuvieron en 2008 cerca de 110.5 millones de dólares por la exportación de este producto (SAGARPA-SIAP, 2009).

La caracterización de las materias primas y las interacciones en el gel que es nuestro sistema de estudio, se realizarán a través de un análisis calorimétrico por lo que es importante definir qué tipo de prueba se debe realizar de acuerdo a su fundamento y que variables se deben controlar al realizarla.

1.4 FUNDAMENTO DEL ANÁLISIS CALORIMÉTRICO (ANÁLISIS TÉRMICO DIFERENCIAL Y TERMOGRAVIMÉTRICO)

Un análisis calorimétrico comprende una serie de procesos analíticos que estudian la evolución de las propiedades fisicoquímicas de una muestra o compuesto cuando es sometida a un calentamiento a altas temperaturas.

Las técnicas del análisis térmico, proveen información macroscópica de fases y transiciones de estado en alimentos y sistemas biológicos, pero no dan información de heterogeneidades en microestructuras. Conociendo la microestructura local, transformaciones relacionadas con el agua, como la separación de fases y sus efectos sobre las velocidades de cambio y estabilidad podemos comprender las propiedades y cinética de sistemas amorfos (Brown, 1988).

En las curvas generadas en un análisis calorimétrico se muestran fases y transiciones de estado, definidas de la siguiente manera:

Transición vítrea: es cuando un polímero cambia de un estado rígido y quebradizo a otro blando y maleable debido a la modificación de su temperatura. Los polímeros poseen una mayor capacidad calorífica por encima de la temperatura de transición vítrea que por debajo (Hatakeyama & Quinn, 2000).

Fusión: Cuando se alcanza la temperatura de fusión los cristales poliméricos comenzarán a separarse, es decir, se funden. Las cadenas abandonan sus arreglos ordenados y comienzan a moverse libremente (Brown, 1988).

Cuando los cristales poliméricos funden, absorben calor, por lo que esta transición es endotérmica. Recordando que la fusión es una transición de primer orden, esto

quiere decir que cuando se alcanza la temperatura de fusión, la temperatura del polímero no se incrementará hasta que hayan fundido todos los cristales. Este calor suministrado en demasía durante la fusión, aparece como un gran pico en la curva de Calorimetría Diferencial de Barrido (DSC) (Hatakeyama & Quinn, 2000).

Comportamiento térmico de los principales constituyentes de los alimentos

Los alimentos son sistemas complicados pero su estado físico está definido por las transiciones de fase de sus principales componentes. El comportamiento de las transiciones de fase de los alimentos sólidos es parecido con la de los polímeros sintéticos.

Diversas transiciones de primer y segundo orden pueden ocurrir durante un gran número de procesamientos, almacenamiento y distribución. Los principales constituyentes de los alimentos pueden existir en estado líquido, en estado de sólido cristalino o cristalino amorfo (Roos, 2003).

Siendo los carbohidratos, lípidos y proteínas los principales constituyentes, se describen los principales fenómenos que tienen lugar al modificar su temperatura.

Carbohidratos.- Para los carbohidratos el principal fenómeno observado es la cristalización, fusión, descomposición, gelatinización del almidón en presencia del agua, retrogradación, transición vítrea, relajación y cristalización (Raemy, 2003).

Lípidos.- Para los lípidos los principales fenómenos son la cristalización, fusión, polimorfismo y oxidaciones efecto de algunos tipos de emulsificantes sobre las características de fusión y cristalización, que puede observarse claramente en un estudio térmico. Solamente la ignición puede presentar un riesgo en las operaciones industriales ya que podría producir fuego (Raemy, 2003).

Proteínas.- El principal fenómeno térmico en las proteínas es la desnaturalización, que es la pérdida de las estructuras de orden superior, quedando la cadena polipeptídica sin ninguna estructura tridimensional fija, por lo que disminuye su estabilidad en disolución, se da la ruptura de puentes de hidrógeno, neutralización

de las cargas eléctricas de tipo repulsivo, provocando la precipitación de la misma (Imeson, 1999).

Principales técnicas para el análisis térmico

Las principales técnicas utilizadas para el análisis térmico de compuestos y/o alimentos se presentan en la Tabla 2, cada una de ellas especializada en propiedades distintas de los compuestos.

En el caso de la termogravimetría se analiza la propiedad del peso en la muestra lo cual en el caso de geles brinda información de la pérdida de agua del sistema.

En cuanto al análisis térmico diferencial los datos se obtienen a partir de los cambios en la temperatura donde se generan los cambios físicos, como por ejemplo el punto de fusión de un gel.

Tabla 2. Principales técnicas de análisis térmico (www.uco.es 2010)

Propiedad	Técnica	Abreviación
Peso	Termogravimetría	TG
Temperatura	Análisis Térmico Diferencial	DTA
Entalpía	Calorimetría Diferencial de Barrido	DSC
Dimensiones	Termodilatometría	
Propiedades mecánicas	Análisis Termomecánico	TMA
Propiedades ópticas	Termomicroscopía	
Propiedades magnéticas	Termomagnetometría	TM
Propiedades eléctricas	Termoelectrometría	
Propiedades acústicas	Termosonometría	TS
Evolución de gas radioactivo	Análisis Térmico de Emanación	ETA
Evolución de partículas	Análisis de Termopartículas	TPA

1.4.1 TERMOGRAVIMETRÍA (TG)

El análisis termogravimétrico es un tipo de prueba a la cual se someten las muestras de materiales ya sea inerte o biológico, para determinar cambios en peso con relación a los cambios de temperatura que se ejerce sobre la muestra. Dicho análisis depende de los grados de precisión en tres mediciones: peso, temperatura y cambios en la temperatura (Conesa, 2000).

Esta prueba es comúnmente utilizada en la investigación y pruebas para determinar las características de polímeros, humedad absorbida, nivel de componentes orgánicos e inorgánicos en materiales, puntos de descomposición de explosivos, estabilidad térmica, caracterización de compuestos volátiles en la muestra, entre otros (Division of MUPA, 2007).

Una característica fundamental de la termogravimetría (TG) es que sólo permite detectar procesos en los que se produce una variación de peso tales como descomposición, sublimación, reducción, oxidación, desorción, absorción, entre otros. y no permite estudiar procesos como fusiones, transiciones de fase, entre otros (Hatakeyama & Quinn, 2000).

El resultado de un análisis termogravimétrico se suele presentar en forma de gráfica conocida como termograma o curva termogravimétrica. En ella se presenta el peso en el eje Y frente a la temperatura o al tiempo en el eje X. En la Figura 6 se muestra un termograma donde se grafica el porcentaje de peso perdido y la temperatura, se puede observar claramente que el termograma está dividido en tres etapas en cada una se pierde un componente del producto analizado, de acuerdo a la temperatura que es alcanzada; también se muestra el porcentaje de peso perdido en cada una de las etapas, conociendo la distancia en el eje Y desde que la etapa comienza hasta que finaliza; y finalmente se observa en la curva también a que temperatura se pierde cada uno de los componentes (Charsley & Warrington, 1992).

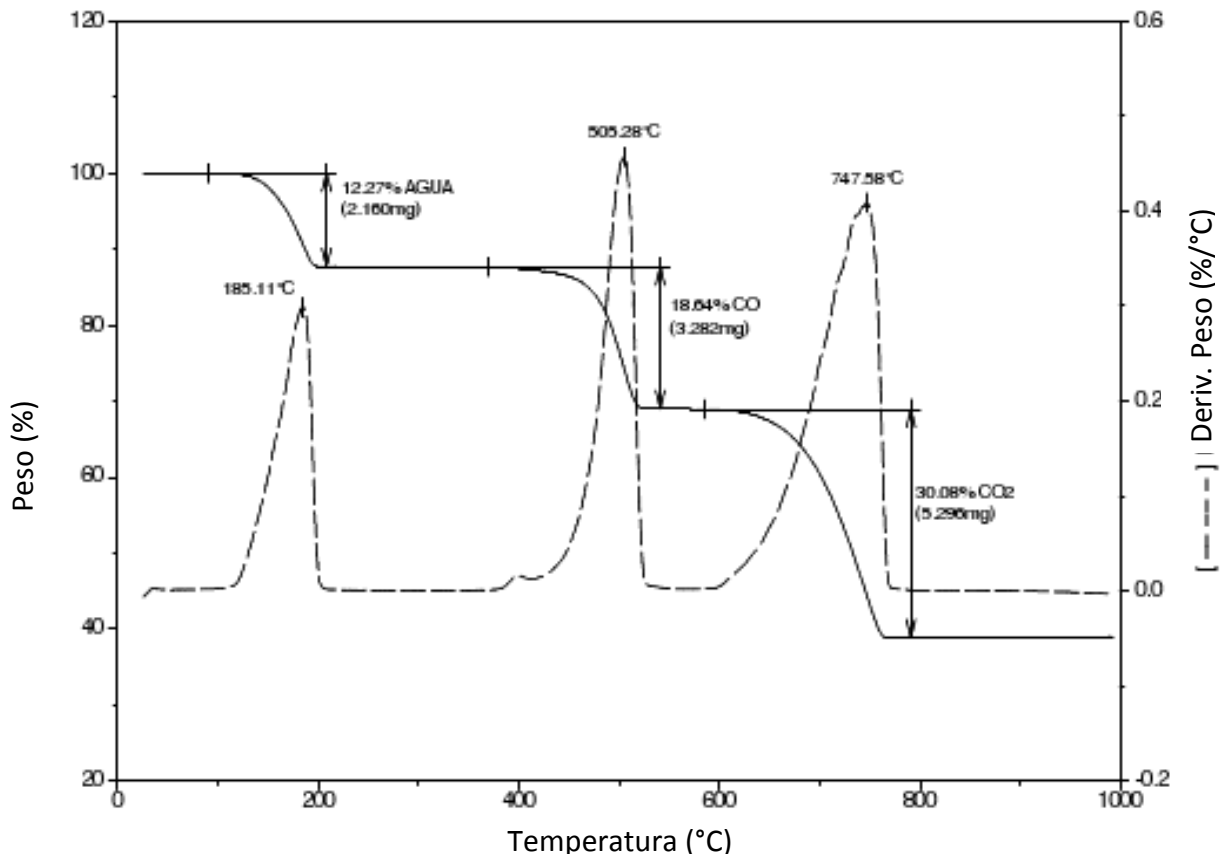


Figura 6. Termograma de un análisis gravimétrico (Charsley & Warrington, 1992)

1.4.1.1 Factores que afectan el análisis termogravimétrico

1.4.1.1.1 Factores extrínsecos

- a) *Velocidad de calentamiento*.- La velocidad de calentamiento influye en los registros si se trabaja a velocidades muy elevadas como lo muestra la Figura 7. Esto puede provocar que los intervalos de temperatura correspondiente a la descomposición del material se desplacen hacia valores de temperatura más elevados. Del mismo modo un aumento en la velocidad puede no mostrar la formación de un intermediario, lo cual puede lograrse cuando se trabaja con velocidades de calentamiento bajas (Hatakeyama & Quinn, 2000).

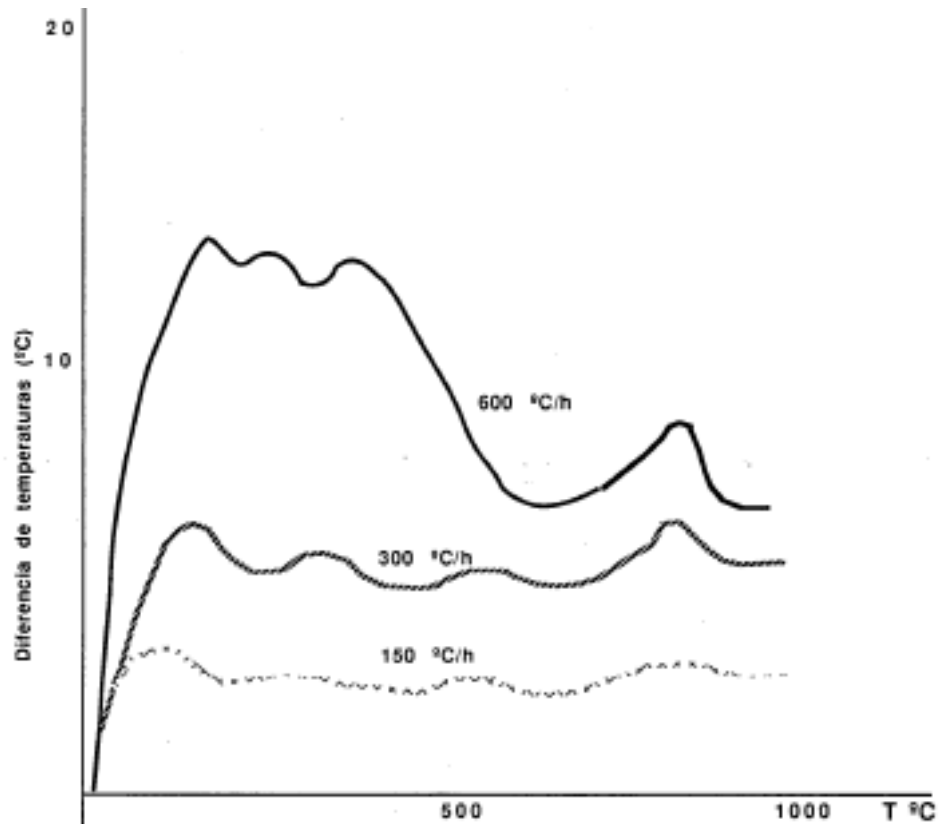


Figura 7. Influencia de la velocidad de calentamiento sobre la temperatura de la muestra (Hatakeyama & Quinn, 2000)

b) *Geometría y composición del portamuestras.*- El portamuestras es una pequeña charola donde se coloca la muestra a analizar, la geometría y composición de ésta, son factores que se deben controlar en este tipo de análisis. Así un portamuestras ancho puede permitir la libre difusión de los gases reaccionantes a la muestra y la difusión de los gases producidos durante la reacción, mientras que un portamuestras muy profundo puede restringir o dificultar esta difusión, La composición del portamuestras debe ser elegida de manera que no interaccionen con la muestra durante el curso de la prueba. Sin embargo, la elección de un portamuestras de aluminio por platino o de sílice por alúmina, puede alterar la transferencia de calor y, por consiguiente el proceso químico por la diferente conductividad térmica de estos materiales (Sierra *et al.*, 2010).

- c) *Atmósfera del horno.*- De acuerdo al material de la muestra a analizar se puede trabajar en atmósferas de gases inertes, oxidantes, reductores o corrosivos (Conesa, 2000).
- d) *Cantidad de muestra.*- Cuanto mayor es la cantidad de muestra, mayor será el efecto térmico sobre la temperatura del horno, debido a reacciones exo o endotérmicas en dicha muestra. Una cantidad grande de muestra dificulta la difusión de los gases producidos en la degradación. Así mismo, un tamaño de muestra excesivo favorece la distribución no uniforme de la temperatura en la muestra, sobre todo si ésta tiene una baja conductividad térmica, aumentando la extensión de los gradientes térmicos que se forman a través de ella. Por lo que es recomendable utilizar un tamaño de muestra mínimo para disminuir dichos errores (Molina, 1992).

1.4.1.1.2 Factores intrínsecos

- a) *Tamaño de partícula y el empaquetamiento.*- Influyen directamente en la difusión de gases desde o hacia la muestra. En dependencia de esto, la velocidad de reacción variará y con ella la forma de las curvas, así como los intervalos en que tienen lugar los cambios de masa. Las pequeñas partículas permiten alcanzar una zona de equilibrio de mayor extensión (Brown & Dominguez, 1998).
- b) *El calor de reacción.*- El calor de reacción afecta a la diferencia entre la temperatura de la muestra y la temperatura del horno. Cuando la reacción es endotérmica la diferencia de temperatura deberá acentuarse, en tanto que si la reacción es exotérmica el calor de reacción tenderá a compensar la diferencia de temperatura entre la muestra y el horno (Molina, 1992).

El horno debe:

- Ser capaz de alcanzar una temperatura superior en 100 o 200 °C a la deseada de trabajo.
- Disponer de una amplia zona de calentamiento homogéneo.

- Alcanzar la temperatura deseada de inicio tan rápido como sea posible.
- No afectar al mecanismo de la balanza por radiación o convección.

La temperatura de la muestra (TM), normalmente ocurre con retraso respecto a la temperatura del horno (TH), y por tanto TM no puede ser medida rápidamente sin que se interfiera el proceso de pesado.

La medida de la temperatura se suele hacer por un termopar (de platino), y a veces se utilizan dos, para controlar de manera independiente TH y TM.

El control de la temperatura se regula mediante programadores especiales que permiten un amplio rango de velocidades de calentamiento, desde fracciones de grado a 10 °C por minuto (Brown & Dominguez, 1998).

1.4.1.2 Interpretación de las curvas

En la Figura 8 se muestran diferentes tipos de curvas resultantes de un análisis termogravimétrico, que permiten interpretar los cambios sufridos en la muestra al modificar su temperatura.

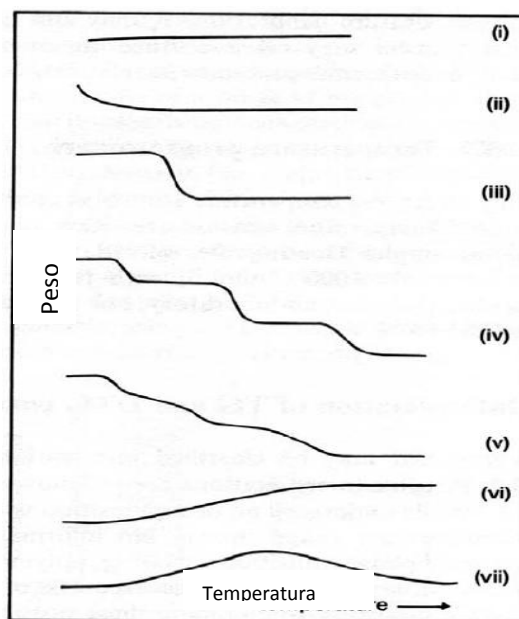


Figura 8. Principales tipos de curvas termogravimétricas (Hatakeyama & Quinn, 2000)

Las interpretaciones de cada tipo de curva son las siguientes:

Tipo (i). La muestra no sufre descomposición con pérdida de productos volátiles en el rango de temperatura mostrado. Pudiera ocurrir reacciones tipo: transición de fase, fundido, polimerización.

Tipo (ii). Una rápida pérdida de masa inicial es característica de procesos de desorción o secado.

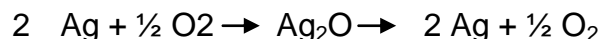
Tipo (iii). Esta curva representa la descomposición de la muestra en un proceso simple. La curva se puede utilizar para definir los límites de estabilidad del reactante, determinar la estequiometría e investigar la cinética de las reacciones.

Tipo (iv). Se indica una descomposición multietapa con intermedios relativamente estables. Se puede definir los límites de estabilidad del reactante e intermedios, y de forma más compleja la estequiometría de la reacción.

Tipo (v). También indica una descomposición multietapa, pero los productos intermedios no son estables, y poca información se obtiene de la estequiometría de la reacción.

Tipo (vi). Se observa una ganancia de masa como consecuencia de la reacción de la muestra con la atmósfera que la rodea.

Tipo (vii). El producto de una reacción de oxidación se descompone a temperaturas más elevadas:



1.4.2 ANÁLISIS TÉRMICO DIFERENCIAL

El Análisis Térmico Diferencial (DTA) mide la diferencia de temperatura entre una muestra y un material de referencia (Figura 9 (a)), ambos sometidos al mismo proceso de calentamiento, como se muestra en la Figura 9 (b). Es decir, el DTA es una técnica en la que se sigue la evolución del flujo de calor intercambiado entre la muestra y el sistema detector del calorímetro en función de la temperatura (o el

tiempo) mientras la temperatura de la muestra, la cual suele estar en una atmósfera controlada, está habitualmente programada mediante rampas térmicas, aunque también pueden efectuarse medidas a temperatura constante. La detección se realiza mediante un montaje diferencial entre la muestra y una referencia inerte obteniendo como resultado una curva típica de DTA como se muestra en la Figura 9 (c) (Höhne & Flammersheim, 1996).

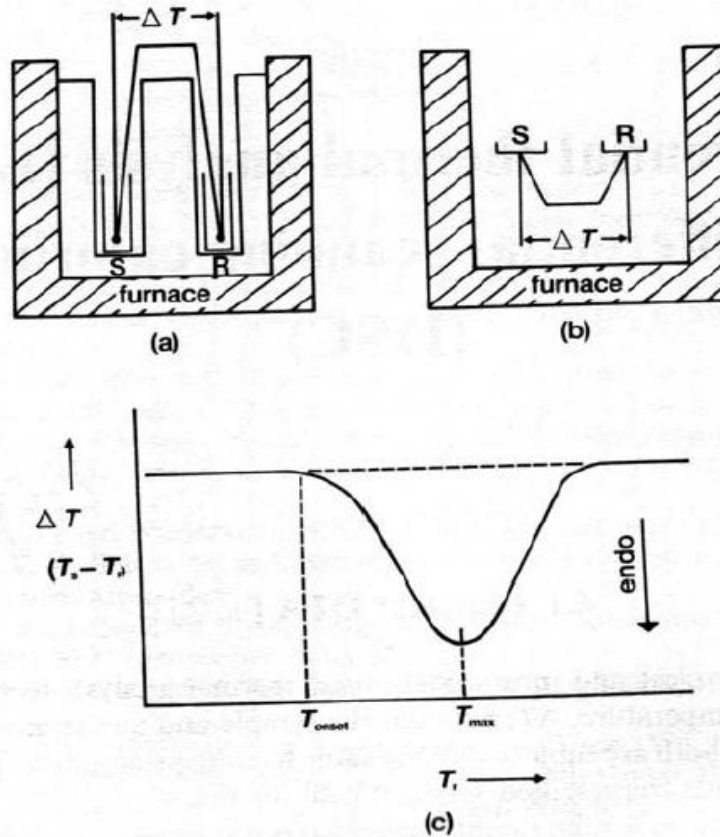


Figura 9. Análisis Térmico Diferencial (DTA). (a) Aparato clásico (S = muestra, R = referencia); (b) flujo de calor; (c) curva típica de DTA. (Höhne & Flammersheim, 1996)

Con esta técnica es posible determinar la temperatura a la cual se producen algunos procesos experimentados por diversos materiales, como transiciones de fase y reacciones químicas. En particular, es posible hallar las temperaturas de las transiciones de fases de la materia. Pequeños cambios de temperatura de la muestra generalmente no son detectados por este método.

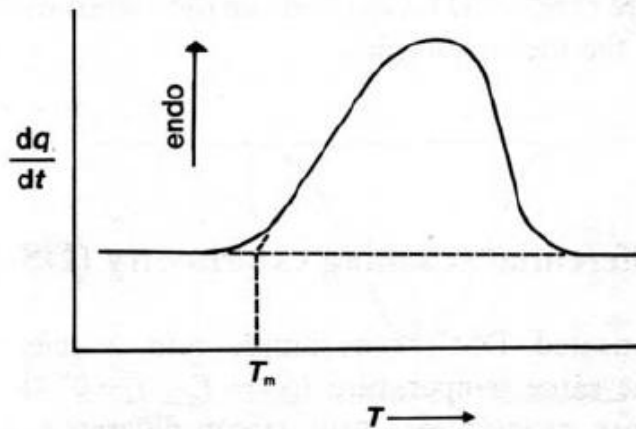


Figura 10. Curva del flujo de calor (Höhne & Flammersheim, 1996)

En el caso de que ocurra un proceso endotérmico (ΔH positivo, ej. fusión de un metal), la temperatura de la muestra, T_s , sufrirá un retraso respecto a la de la referencia, T_r , mientras continua el programa de calentamiento.

Si ocurre un proceso exotérmico en la muestra (ΔH negativo, ej. oxidación), la respuesta será en sentido contrario.

El material de referencia debe de cumplir las siguientes características:

- No exhibir fenómeno térmico en el rango de temperatura seleccionado.
- No reaccionar con el portamuestras o termopar.
- Presentar una conductividad térmica y capacidad calorífica similar a los de la muestra.

Materiales de referencia de tipo inorgánico: Al_2O_3 y SiC.

Materiales de referencia de tipo orgánico: ftalato de octilo y aceite de silicona.

Las referencias se suelen usar en forma de polvo. El horno puede ser purgado con un gas inerte y controlar la atmósfera de trabajo (Brown & Dominguez, 1998).

Calibración del equipo

A la hora de realizar experimentos cuantitativos es necesario hacer una calibración en el rango de temperaturas de trabajo cada vez que se produzca un cambio que pueda alterar la respuesta del calorímetro. Esto incluye situaciones como variaciones en el gas de purgado o el flujo del mismo, cambios en las rampas de temperatura en nuestros experimentos o situaciones singulares, como el cambio de celda del aparato.

Se realiza un experimento de calentamiento con un material patrón (por ejemplo indio) en un rango de temperaturas en torno al punto de fusión y con los valores del calorímetro que vienen de fábrica. El cruce de la tangente de la máxima pendiente con la línea de base nos indica la temperatura de fusión registrada en el experimento y ésta se compara con la esperada. En la Tabla 3 se presentan diferentes materiales con su temperatura de transición, sugeridos para realizar la calibración de un calorímetro (Höhne & Flammersheim, 1996).

Tabla 3. Materiales estándar recomendados para calibración (Höhne & Flammersheim, 1996)

Temperatura de Calibración			
Material	Temperatura de transición (°C)	Material	Temperatura de transición(°C)
KNO ₃	127.7	K ₂ SO ₄	583
KClO ₄	299.5	K ₂ CrO ₄	665
Ag ₂ SO ₄	412	BaCO ₃	810
SiO ₂ (cuarzo)	573	SrCO ₃	925

1.5 FUNDAMENTO DE LA PRUEBA DE PENETRACIÓN

La textura puede definirse como el conjunto de los atributos mecánicos, geométricos y de superficie de un producto que son perceptibles por medio de receptores mecánicos, táctiles, visuales y auditivos (Rosenthal, 2001).

La textura es un concepto que se conoce como algo intuitivo o empírico. Se puede decir que es un concepto puramente sensorial. Su percepción depende principalmente de la deformación del alimento al aplicarle una presión y/o determinadas propiedades estructurales estimadas por medio de los sentidos (Rosenthal, 2001). En este sentido, la textura representa un parámetro de calidad importante y afecta la preferencia del consumidor (Antoniou *et al.*, 2000).

La mejor valoración de textura se efectúa por medio de las sensaciones experimentadas por la boca, por lo que los procesos de masticación y deglución son importantes. Sin embargo, existen valoraciones de la textura de los alimentos por medio de instrumentos (Rosenthal, 2001).

En general, los métodos de medición de las propiedades mecánicas de los materiales pueden clasificarse en: fundamentales, empíricos, imitativos y sensoriales. Los métodos fundamentales son utilizados en las pruebas reológicas y los empíricos, imitativos y sensoriales en las pruebas de textura por lo que a continuación se describen estas últimas.

- Los métodos empíricos son los más utilizados. Por lo general, éstos pueden dividirse en destructivos y no destructivos. En este tipo de métodos se aplica un esfuerzo de cualquier tipo al alimento, ya sea de compresión, corte, punción, extensión, flexión, tensión, etc. Posteriormente se mide la respuesta del alimento. Por lo anterior, en muchas ocasiones no están claros los principios teóricos de éstos por lo que la interpretación de los resultados es igualmente empírica en su totalidad, sin embargo, su aplicación en situaciones de control de calidad de productos y control de procesos es muy buena, y la correlación con resultados de evaluación sensorial suele ser alta (Costell, 1994).

- Los métodos imitativos son aquéllos en los cuales se imitan las condiciones a las cuales va a ser sometido el alimento durante su ingestión (Andazaldúa, 1994).
- Los métodos sensoriales están basados en lo que una persona, entrenada o no, percibe de un alimento por medio de los sentidos de la vista, olfato, gusto, tacto y oído (Schutz, 1998).

Una de las pruebas empíricas más utilizadas es la prueba de penetración, ésta representa una de las más viejas técnicas de medición de textura, en la cual una sonda de geometría dada es conducida en un material y la fuerza requerida para una dada penetración o la profundidad de penetración total es medida y ha sido ampliamente utilizada en la caracterización textural para frutas, vegetales, geles, mayonesas, grasas y en la cuantificación de la terneza de carnes (Casas & Ramírez, 1998)

La penetrometría se utiliza para medir una característica mecánica relacionada con la firmeza, dureza o rigidez de diferentes productos. Se basa en la medida de la resistencia que opone un alimento a que una pieza determinada penetre en él, es decir mide la distancia o fuerza de penetración de un vástago cilíndrico, aguja, cono o bola en el alimento, en un intervalo de tiempo. La profundidad de penetración dependerá del peso del cono y del ángulo del cono, del tipo de material, su temperatura y el tiempo de penetración (Lewis, 1993). En cuanto a la fuerza máxima, está relacionada con la firmeza del alimento, con las dimensiones del punzón, de la distancia de penetración y de la velocidad con que se aplica la fuerza. Debido a la naturaleza viscoelástica de los alimentos, la magnitud de la tensión desarrollada no solo es función de la deformación, sino también de la velocidad impuesta (Costell, 1994).

Se han desarrollado distintos tipos de pruebas de penetración que difieren principalmente en: la geometría de la pieza que se introduce en el alimento, que generalmente es cilíndrica o cónica; el sistema por el que la pieza se introduce en el alimento, que puede ser aplicando un peso constante o variable o aplicando una

fuerza a una velocidad constante y las dimensiones de la variable que miden, que pueden ser las de una fuerza, una distancia o un tiempo (Costell, 1994).

De la prueba de penetración se obtienen curvas de fuerza vs distancia de las cuales el primer pico indica la fuerza de ruptura o fracturabilidad (FR), el pico más alto indica la dureza del material (D) y la distancia indica la deformación del material (DFR). Otro parámetro que se puede conocer de este tipo de curvas es el trabajo (TFR) el cual se calcula obteniendo el área bajo la curva, lo cual se muestra en la figura 11.

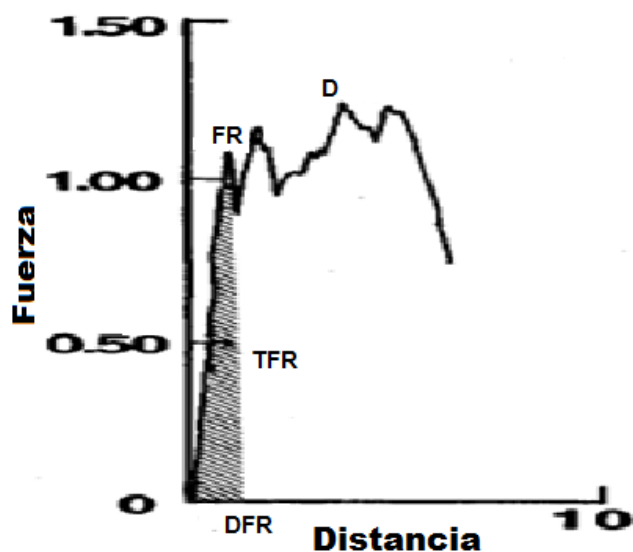


Figura 11. Curva Fuerza-Deformación; fuerza de ruptura (FR), dureza (D), trabajo hasta la fuerza de ruptura (TFR), deformación hasta la fuerza de ruptura (DFR) (Sato et al., 1997)

1.6 FUNDAMENTO DE COLORIMETRÍA (CIE L, a y b)

El color es algo que nosotros observamos, es el resultado de la modificación física de la luz por los colorantes, como se observa por el ojo humano (proceso perceptual) e interpretado por el cerebro (Billmeyer & Saltzman, 1981).

El color del alimento no es una característica física, es una señal del cerebro humano que resulta en la percepción de la apariencia, la cual puede ser influenciada por un número de características físicas y una serie de percepciones

fisiológicas como el color de un fondo. El color como es visto por el ojo humano es una interpretación por el cerebro del carácter de luz que viene de un objeto. Si el color no es atractivo, el consumidor no puede juzgar el sabor ni la textura del producto, de aquí surge su gran importancia (Fungi & Matthews, 1991).

Para el análisis del color el ojo puede ser sustituido por un detector foto sensitivo y un equipo auxiliar que aproxime la acción de detectar la luz, llamado colorímetro.

1.6.1 Características del color

El efecto de la luz sobre un objeto puede describirse por su transmitancia espectral o curva de refracción. La curva muestra la fracción de luz reflejada en cada longitud de onda del material transmitido a través de éste. Estas curvas describen el objeto tal como la curva de poder espectral describe a una fuente de luz (Billmeyer & Saltzman, 1981).

Cuando se clasifican los colores, se pueden expresar en términos de su tono (color), luminosidad (brillantez), y dispersión o saturación (intensidad).

Tono.- Es el término utilizado para clasificar al rojo, amarillo, azul, etc.

Luminosidad.- Este cambia verticalmente, se puede expresar en colores brillantes y en oscuros.

Dispersión o saturación.- Los colores cambian a partir del centro al exterior. Los colores son tenues en el centro y se hacen más intensos al moverse hacia fuera del centro (Fungi & Matthews, 1991).

Estos tres elementos son atribuidos al color y se pueden colocar juntos para crear un sólido tridimensional, en donde el tono forma parte del borde exterior del sólido; la luminosidad el eje central y la dispersión la horizontal (Fungi & Matthews, 1991).

Escalas de color

La CIE, *Commission International de l'Eclairage* o *International Commission on Illumination*, ha desarrollado varios métodos para expresar los colores, de los

cuales los más ampliamente conocidos son el espacio de color Y, X: basado en los valores triestímulo X, Y, Z definidos por la CIE y el espacio de color L, a, b elaborado en 1976 para proveer diferencias de color más uniformes en relación con las diferencias visuales (Massachusetts Institute of Technology , 1959).

El espacio de color L, a, b es muy utilizado para medir el color. El espacio de color **L** indica la luminosidad y **a** y **b** la cromaticidad. En el diagrama de cromaticidad, mostrado en la Figura 12, el valor de a y b indican las direcciones de color: +a es la dirección roja, -a es la dirección verde, +b es la dirección amarilla y -b es la dirección azul. El centro es acromático, cuando los valores a y b se incrementan y el punto se mueve fuera del centro, la dispersión del color se incrementa.

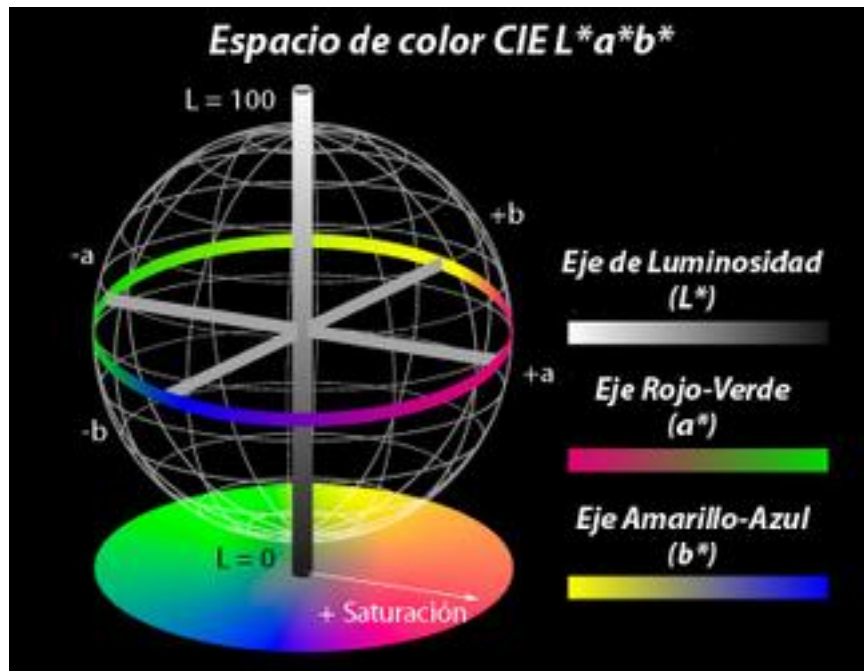


Figura 12. Diagrama de Cromaticidad, espacio de color L, a y b.
(<http://campusvirtual.unex.es/cala/epistemowikia/index.php> 2010)

En el espacio de color CIE L, a, b, el color se puede presentar con un solo valor conocido como índice de color definido como:

$$IC = [(L)^2 + (a)^2 + (b)^2]^{0.5} \dots\dots\dots \text{Ecuación 1}$$

Así mismo las diferencias de color pueden expresarse como un solo valor numérico, ΔE_{ab} , el cual indica las diferencias de color, pero no hacia donde varía el color.

La ΔE_{ab} se define como:

$$\Delta E_{ab} = \sqrt{(\Delta L)^2 + (\Delta a)^2 + (\Delta b)^2} \dots\dots \text{Ecuación 2}$$

1.6.2 Funcionamiento del colorímetro

El colorímetro expresa numéricamente colores de acuerdo a estándares internacionales. El funcionamiento de un colorímetro es el siguiente:

La muestra es analizada a través de un colorímetro que consta de tres componentes principales: una fuente de la luminosidad, una combinación de filtros que modifican la distribución de la energía de la luz reflejada y un detector fotoeléctrico que convierte la luz reflejada en una salida eléctrica que otorga resultados directos a través de la luminosidad que genera el producto y estos son enviados a una microcomputadora para ser analizados (Billmeyer & Saltzman, 1981).

Detector fotoeléctrico.- Es un conjunto de tres sensores filtrados que tiene casi la misma sensibilidad con la que el ojo humano recibe la luz de un objeto y transmite la información a la microcomputadora.

La microcomputadora.- Determina numéricamente los valores basados en la información de los sensores (Billmeyer & Saltzman, 1981).

Datos de color numéricos

El colorímetro mantiene las mismas condiciones de prueba: fuente de luz y el método de iluminación, por lo que las pruebas se pueden realizar en cualquier momento del día.

1.7 PRUEBAS SENSORIALES

El Instituto de Alimentos de EEUU (IFT, por sus siglas en inglés), define la evaluación sensorial como “la disciplina científica utilizada para evocar, medir, analizar e interpretar las reacciones a aquellas características de alimentos y otras sustancias, que son percibidas por los sentidos de la vista, olfato, gusto, tacto y oído” (Schutz, 1998).

1.7.1 Pruebas afectivas

Las pruebas afectivas se refieren al grado de preferencia y aceptabilidad de un producto. Este tipo de pruebas nos permiten no sólo establecer si hay diferencias entre muestras, sino el sentido o magnitud de la misma. Esto nos permite mantener o modificar la característica diferencial (Penna, 2001).

Dentro de las pruebas afectivas o hedónicas podemos encontrar: pruebas de preferencia (preferencia pareada y categorías de preferencia) y pruebas de aceptabilidad. Muchas veces se confunden el término preferencia con aceptabilidad, sin embargo son terminologías diferentes. Aceptabilidad se refiere al grado de gusto o disgusto de una persona sobre un producto. Se basa en una escala de medición de una persona y su comportamiento. Mientras que preferencia se refiere a la elección entre varios productos sobre la base del gusto o disgusto. Se basa en la elección de una persona entre un conjunto de alternativas (dos o más productos). Cuando se usan dos productos se refiere a una prueba pareada. Cuando se usan dos o más productos se refieren a una prueba de ranking (Penna, 2001).

Las pruebas de aceptabilidad son usadas para:

- Identificar las características de un producto traducidas en grados de aceptabilidad de diferentes cualidades del mismo, por ejemplo: la aceptabilidad del sabor, color, consistencia, grado de dulzor, etc.
- Medir el tiempo de vida útil de los productos

- Las pruebas de aceptabilidad se pueden realizar incluso ante situaciones adversas en el ambiente, es decir se pueden realizar en el hogar, en ambientes no especialmente diseñados para la prueba (Dominguez, 2007).

Ventajas y limitaciones de las pruebas de aceptabilidad

Una de las principales ventajas es que provee de información esencial del producto. Asimismo permite identificar el grado de gusto o disgusto de un producto y relaciona el perfil descriptivo y otras variables para poder optimizar o mejorar el producto (Penna, 2001).

Dentro de las limitaciones es que los resultados pueden no ser claros y pueden dar un pobre diagnóstico, debido a que se trata de la apreciación en relación a los gustos y preferencias de panelistas. Puede resultar difícil obtener un panel representativo de la población objetivo y finalmente los datos o categorías de preferencia pueden ser ambiguos (Penna, 2001).

Principio de la prueba de aceptabilidad

En este tipo de pruebas se asume que el nivel de aceptabilidad del consumidor existe en un continuo, no necesariamente hay el mismo nivel de escala entre me gusta mucho y me gusta, que entre me disgusta mucho y me disgusta. Las respuestas están categorizadas en escalas desde gusta a no gusta, también se pueden evaluar otros atributos del alimento por ejemplo: salado, dulce, espeso, color, etc. Para el análisis se asigna un valor numérico a cada escala. No se debe buscar otra alternativa o alternativas intermedias, se usan las que están dadas. La escala más empleada para el desarrollo de esta prueba es la escala de Perayamm & Pilgrim mostrada en la Figura 13.

Comúnmente se utilizan escalas hedónicas para evaluar la preferencia y/o aceptabilidad de un producto descriptivo. La escala tiene 9 puntos, pero a veces es demasiado extensa, entonces se acorta a 7 ó 5 puntos:

NOMBRE: _____ **FECHA** _____

NOMBRE DEL PRODUCTO _____

Pruebe el producto que se presenta a continuación.
Por favor marque con una X, el cuadrado que esta junto a la frase que mejor describa su opinión sobre el producto que acaba de probar.

<input type="checkbox"/>	Me gusta muchísimo
<input type="checkbox"/>	Me gusta mucho
<input type="checkbox"/>	Me gusta moderadamente
<input type="checkbox"/>	Me gusta ligeramente
<input type="checkbox"/>	Ni me gusta ni me disgusta
<input type="checkbox"/>	Me disgusta ligeramente
<input type="checkbox"/>	Me disgusta ligeramente
<input type="checkbox"/>	Me disgusta moderadamente
<input type="checkbox"/>	Me disgusta mucho
<input type="checkbox"/>	Me disgusta muchísimo

COMENTARIOS.

MUCHAS GRACIAS!

Figura 13. Formato de prueba afectiva de tipo hedónica (Peryamm & Pilgrim, 1957)

Así se puede usar cinco niveles de escala entre me disgusta mucho a me gusta mucho, incluyendo una intermedia no me gusta ni me disgusta, como se muestra en la Figura 14 (Dominguez, 2007).

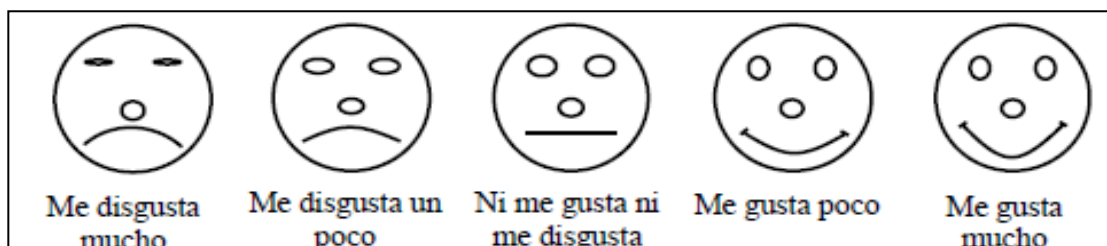


Figura 14. Escala hedónica con cinco niveles (Dominguez, 2007)

Otra alternativa con cuatro niveles de aceptabilidad mostrada en la Figura 15



Figura 15. Escala hedónica con cuatro niveles (Dominguez, 2007)

Como se puede observar se puede usar diferentes niveles de aceptabilidad representados por caritas indicando a que se refiere cada una (Figura 14, Figura 15), caritas solas (Figura 16), caritas con líneas entre los extremos (Figura 17), una línea indicando en palabras el significado de cada extremo (Figura 18) ó sólo líneas punteadas indicando en cada extremo el significado (Figura 19) (Dominguez, 2007).

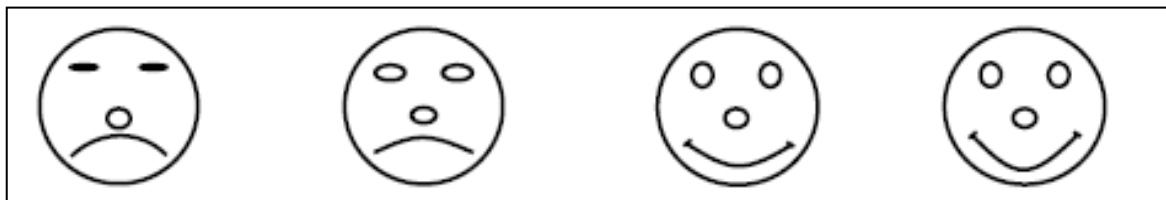


Figura 16. Escala hedónica indicada con caritas solas (Dominguez, 2007)

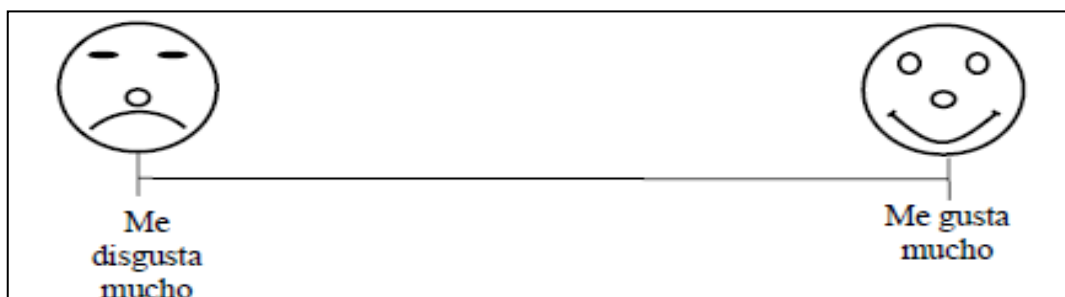


Figura 17. Escala hedónica indicada con línea y caritas en los extremos (Dominguez, 2007)

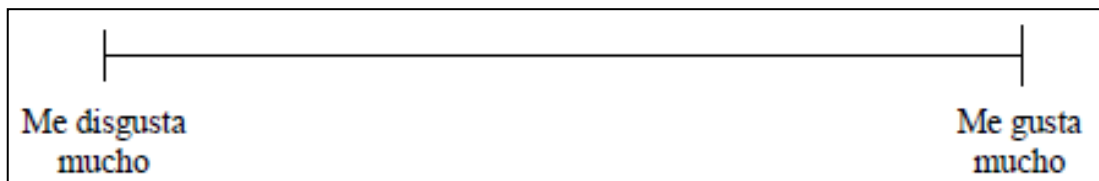


Figura 18 Escala hedónica indicada con línea (Dominguez, 2007)

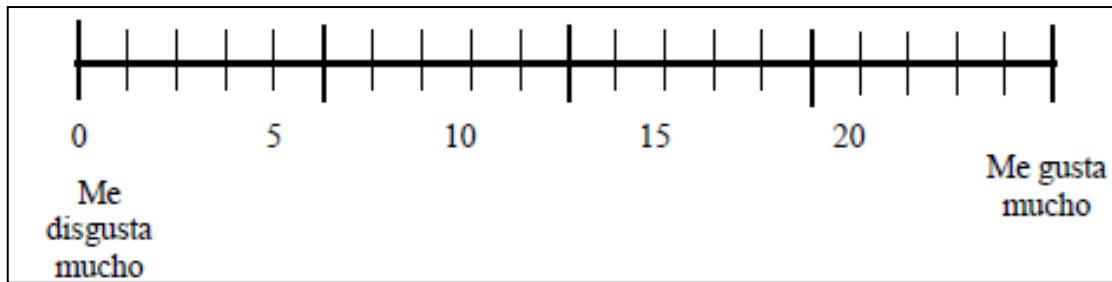


Figura 19. Escala hedónica indicada con línea segmentada y significado en los extremos (Dominguez, 2007)

Supuestos en pruebas de aceptabilidad

Dado que en las pruebas de aceptabilidad se usa una escala hedónica para categorizar el nivel de aceptabilidad de un producto o varios hay supuestos a tomar en cuenta:

Se asume que las preferencias del consumidor existen en un continuo, lo cual no es totalmente cierto, no necesariamente existe la misma distancia entre no me gusta, no me gusta nada, que entre me gusta y no me gusta ni me disgusta.

Por lo general se asigna un valor numérico a cada escala para el análisis, hay que tener cuidado, por lo expuesto en el punto anterior.

Es necesario ser cuidadosos y evitar jugar con las escalas.

Se debe tomar en cuenta que se deben usar sólo las alternativas que se muestran, es decir si existe 7 escalas entre me disgusta y me gusta, se tiene que optar por una de ellas, no se debe marcar entre dos escalas (Dominguez, 2007)

Esta prueba se puede realizar por atributos, algunos de ellos para el sabor de mango son:

- Maduro
- Dulce
- Ácido
- Fibroso
- Pulposo
- Jugoso
- Astringente

En la Tabla 4 se indica la clasificación de las características de textura, que se deben tener en cuenta para el desarrollo de la prueba de aceptabilidad en características de textura.

Tabla 4. Patrones a evaluar en cada una de las sensaciones al realizar una evaluación sensorial (Stone & Sidel, 1993)

Sensación Inicial	Mecánica	Dureza
		Viscosidad
		Fracturabilidad
	Geométricas	Lisa, Rugosa
	Grasa	
	Humedad	
Sensación de Masticación	Mecánica	Adhesividad
		Gomosidad
	Geométricas	
	Grasa	
	Humedad	
Sensación Residual	Facilidad de rotura	
	Tipo de Rotura	
	Absorción de la humedad	
	Recubrimiento de la boca	

El análisis estadístico se realiza con el ANOVA clásico o método de los rangos de Tukey. Cuando se trata de dos muestras se pueden comparar las puntuaciones totales mediante un t-Student.

Ejemplo: Se probaron dos tipos de puré de papa, preparados con diferentes variedades de la misma, en dos grupos de personas. El Puré “1” fue degustado por 21 panelistas y el “2” por 22 panelistas. Se les pidió que dieran su opinión sobre la consistencia y el sabor, usando una escala de 8 puntos en el nivel de aceptabilidad, desde no me gusta nada a me gusta mucho Los resultados se muestran en la Tabla 5 (Dominguez, 2007)

Tabla 5. Resultados de prueba de puré de tomate (Dominguez, 2007)

Panelistas	Consistencia		Sabor	
	Puré 1	Puré 2	Puré 1	Puré 2
1	6	2	6	6
2	5	4	5	5
3	4	5	6	5
4	5	6	5	4
5	3	5	3	3
6	4	4	2	4
7	5	3	6	5
8	6	5	5	3
9	5	4	6	2
10	3	6	5	6
11	4	4	4	5
12	6	3	6	4
13	5	6	5	6
14	4	4	4	3
15	6	5	6	5
16	4	4	3	3
17	5	3	4	5
18	6	2	5	6
19	5	4	6	3
20	4	2	4	4
21	6	3	3	5
22		4		6
Media	4.81	4.00	4.71	4.45
DE	0.98	1.23	1.23	1.22
Suma X	101	88	99	98
Suma X²	505	384	497	468

N	21	22	21	22
Grados de libertad				
21 + 22 panelistas-2	41		41	
Valor t	2.020		2.020	
t	2.374		0.694	
Resultados	Consistencia de Producto "1" mejor a Producto "2"		Sabor de Producto "1" igual a Producto "2"	

Para observar si los productos tienen la aceptación de los panelistas (traducida en escala numérica) determinamos la media y desviación estándar y para verificar la diferencia entre ambos productos calculamos el valor t para una prueba independiente.

Los resultados nos muestran que el valor t para la consistencia fue de 2.374 y para el sabor 0.694. Para una $\alpha=0.05$ a dos colas y para 41 grados de libertad ($21+22-2=41$) el valor crítico para el t-test es de 2.020 (valor tomado de tabla t de Student, por lo tanto concluimos que la consistencia del Puré "1" es preferida al Puré "2" (el mayor puntaje es el mejor, media 4.81 vs 4.00) a un nivel de significancia de 0.05. Sin embargo, con respecto al sabor los dos tipos de puré fueron igualmente aceptados, es decir que no hay diferencia significativa entre ambos, concluyendo así la prueba.

2. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

2.1 OBJETIVO GENERAL

Estudiar las interacciones entre biopolímeros (agar-agar, grenetina y xantana) y su efecto sobre la estabilidad, el color, la textura, el punto de fusión y las características sensoriales en un gel de mango en forma de espagueti, a través de pruebas de penetración, colorimetría, análisis térmico diferencial, análisis termogravimétrico y pruebas sensoriales, de manera que se obtenga un producto estable, con un punto de fusión elevado, con una fuerza del gel que resista su manipulación y con un color semejante al de la pulpa de mango.

2.2 ACTIVIDAD PRELIMINAR

Materiales

- Pulpa de mango pH= 5.9, °Brix= 17
- Agua purificada marca Ciel
- Azúcar refinada
- Benzoato de sodio: Proveedor Droguería Cosmopolita
- Grenetina tipo B: Proveedor Helm de México

Tabla 6. Especificaciones de la grenetina (Ficha técnica de Helm de México, 2010)

Apariencia	Polvo amarillento
Tamaño de partícula	100 Mesh (0.15 mm)
Solubilidad en agua	Absorbe 3 a 5 veces su peso en agua
Punto de fusión (sin descomposición)	Ca. 200°C
Pto. Isoeléctrico	4.7-5.2
Bloom	250 °Bloom
pH a 1.5% a 43°C+/-1	5.5-6.5
Dureza del gel 1.5% sol. a 20°C	700-1000 g/cm ³
Viscosidad 1.5% sol. a 60°C	35 a 40 cps
Peso molecular	Ca. 2000 a 106 Dalton
Peso específico	1.3 g/cm ³

- Goma xantana: Proveedor Helm de México

Tabla 7. Especificaciones de goma xantana (Ficha técnica Helm de México, 2010)

Apariencia	Polvo blancuzco
Tamaño de partícula	800-900µm
Humedad	Max. 18%
Cenizas	Max 16%
pH, solución al 1%, 25°C	6.0 - 8.0
Viscosidad 1.0% sol.	860 cps
Solubilidad	En agua fría y caliente

- Agar-Agar: Proveedor Helm de México

Tabla 8. Especificaciones de Agar-Agar (www.agargel.com.br, 2010)

Apariencia	Polvo amarillento
Tamaño de partícula	100 Mesh (0.15mm)
Humedad	Max. 18%
Absorción de agua	Max 75 c.c.
Cenizas	Max 6.5%
Materia extraña orgánica	Max. 1%
Materia extraña insolubles	Max. 1%
pH	6.8 a 7
Dureza del gel 1.5% sol. a 20°C	700-1000 g/cm ³
Viscosidad 1.5% sol. a 60°C	10 a 100 cps
Punto de fusión	85-95° C
Solubilidad	En agua hirviendo

Metodología

Elaboración de un gel de mango en forma de espagueti utilizando dos gomas (xantana y agar-agar) y una proteína (grenetina) para definir la concentración de los demás ingredientes dentro de la formulación propuesta, siguiendo la formulación de la Tabla 9.

Con el fin de plantear la formulación inicial se definieron las concentraciones de los biopolímeros de acuerdo a los porcentajes necesarios para que se lleve a cabo la gelificación y un fácil moldeado.

Tabla 9. Formulación planteada para la elaboración del gel

Componente	%
Pulpa de mango	39.3
Agua	35
Azúcar	21
Goma xantana	0.47
Grenetina	2.35
Agar-agar	1.88

El proceso para la elaboración del gel de mango en forma de espagueti, esta expresado en la Figura 20.

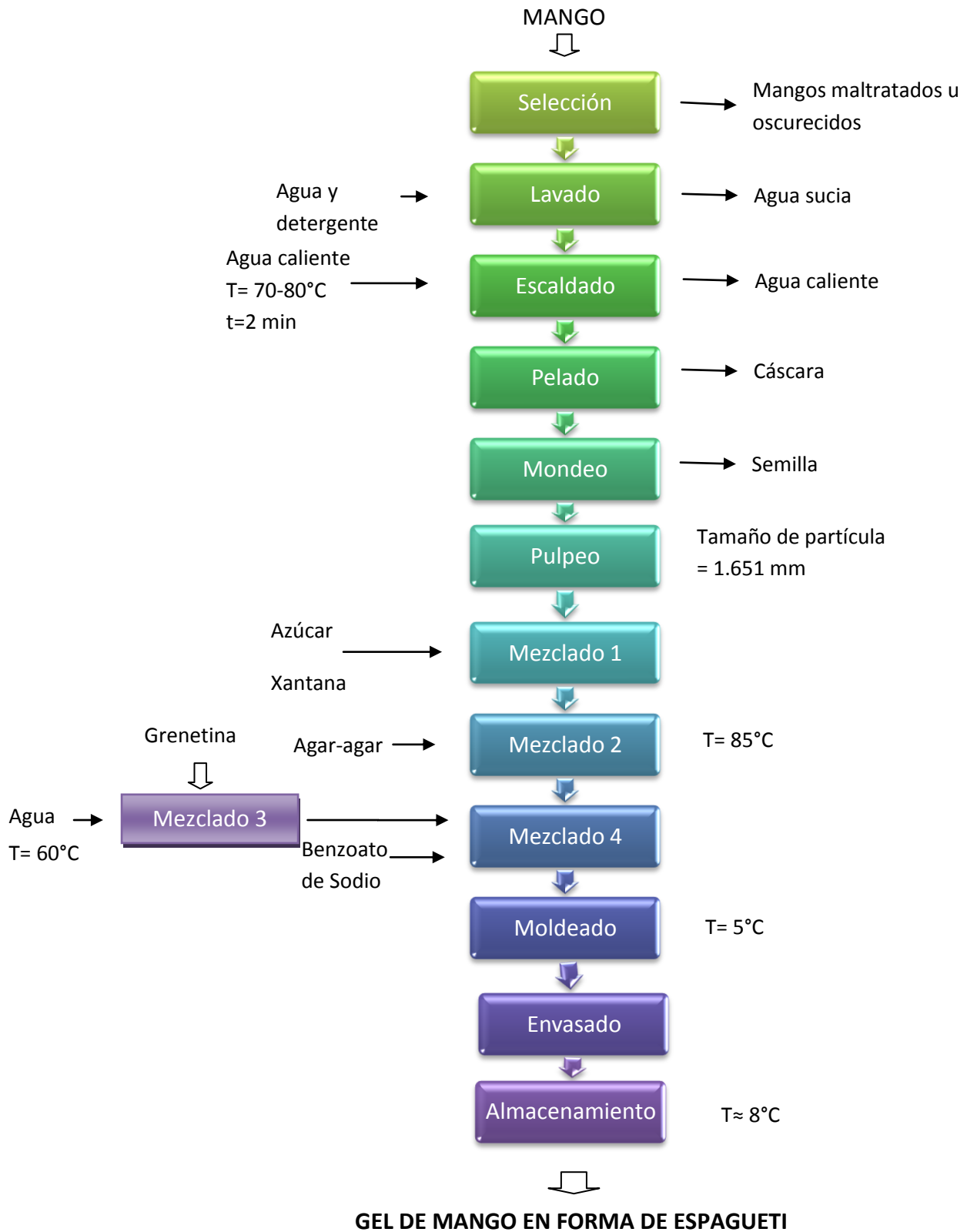


Figura 20. Diagrama de bloques del proceso de elaboración de gel de mango en forma de espagueti.

Descripción del diagrama de bloques

- **Selección**: Se decidió utilizar la variedad de mango *Mangifera caesia* (ataulfo) debido a su precio moderado y a su pulposa estructura. Se seleccionaron los mangos maduros (amarillos y firmes) y aquellos que no tuvieran maltratados.
- **Lavado**: Se lavaron con agua y jabón cada uno de los mangos, con el fin de eliminar la suciedad adherida superficialmente.
- **Escaldado**: Los mangos limpios fueron sumergidos en agua caliente (70-80°C) durante 2 minutos, si se dejan por más tiempo comienza una cocción indeseable.
- **Pelado**: Se retiró manualmente la cáscara a los mangos evitando retirar pulpa.
- **Mondeo**: Se retiró toda la pulpa de los mangos y se desechó la semilla.
- **Pulpeo**: Se molieron los trozos de pulpa en un molino de cuchillas hasta lograr una mezcla homogénea, posteriormente se pasa toda la pulpa por un tamiz del número 10 de la serie de Taylor, que corresponde a una abertura de 1.651 mm para que la pulpa tenga un tamaño de partícula homogéneo.
- **Mezclado 1**: Se agregó el azúcar y la goma xantana a la pulpa y se mezcló con el dispersor de propela a una velocidad entre 500-700 rpm
- **Mezclado 2**: Se adicionó el agar-agar y se dispersó a velocidad entre 500-700 rpm calentando a 85°C.
- **Mezclado 3**: Se calentó el agua a 60°C y se fue agregando poco a poco la grenetina. La solución se dejó reposar durante media hora para que se hidratara adecuadamente.
- **Mezclado 4**: La grenetina hidratada se mezcló con el producto de la mezcla 2, es en este mezclado donde se agregó el benzoato de sodio, conservador que funciona en pH ácido (pH < 4).
- **Moldeado**: Se introdujo la mezcla en una manguera con ayuda de una jeringa, la manguera se enfrió con cubos de hielo en agua helada (T= 5°C), tras 5 minutos utilizando la jeringa se extrae el gel que mide aproximadamente 0.5 cm de diámetro y de largo 20 cm.

- Envasado y almacenamiento: El gel de mango una vez moldeado se colocó en un vaso de plástico con tapa. Se almacenó dentro del refrigerador a la temperatura de 8° C aproximadamente.

2.3 ACTIVIDAD 1

Se elaboró cada una de las formulaciones de gel de mango mostradas en la Tabla 10, midiendo el pH en cada una de las etapas, el análisis de cada espagueti se hizo manteniendo constante el tiempo de almacenamiento.

Para obtener el diseño de mezclas se definieron los límites máximos y mínimos de los biopolímeros; la concentración de xantana se varía desde cero ya que se quiere analizar la influencia de su presencia dentro del sistema. La gnetina se encuentra en mayor concentración en la formulación para contrarrestar la rigidez del gel por la presencia de agar, además de que la dosificación recomendada para la gnetina de 230° Bloom es de 2 a 3.5% (Narres & Shailaja, 2010); la concentración de agar fue delimitada en base a que se ha encontrado que a concentraciones de hasta 2% se muestra 45°C de histéresis (intervalo de temperatura entre las temperaturas de fusión y gelificación) (Imeson, 1999), lo cual da lugar a una gel más estable a la temperatura, además de que al 1.5% se han reportado fuerzas del gel de hasta 1270 g/cm² (Phillips & Williams, 2000).

Para realizar la experimentación se realizó un diseño de mezclas, usando el software MINITAB versión 14, estableciendo así las concentraciones de cada biopolímero en siete formulaciones, tal como se muestra en la Tabla 10.

Tabla 10. Concentraciones de biopolímeros de cada una de las fórmulas

Formulación	1	2	3	4	5	6	7
Gnetina (%)	2.35	2.51	3.29	2.66	2.35	2.5	2.97
Agar-Agar (%)	1.41	2.04	1.41	1.72	2.35	1.57	1.57
Xantana (%)	0.94	0.15	0	0.32	0	0.63	0.16

2.4 OBJETIVOS PARTICULARES

2.4.1 OBJETIVO PARTICULAR 1

Evaluar el efecto de tres biopolímeros (agar-agar, grenetina y xantana) sobre el punto de fusión del gel de mango, a través del análisis térmico diferencial, esto con el fin de determinar los cambios en la distribución del agua, así como la existencia de interacciones en el sistema, las cuales permitan que a temperatura ambiente no se presente en el sistema una transición gel-sol.

VARIABLE INDEPENDIENTE: Concentración de polímeros.

VARIABLES DEPENDIENTES: Diferencia de temperaturas entre la muestra y la referencia.

VARIABLES DE RESPUESTA: Punto de fusión

Materiales

- Muestras de cada formulación de gel de mango
- Muestras de cada formulación de geles sin pulpa ni azúcar (blancos)
- Muestras de cada formulación de geles sin pulpa ni azúcar únicamente con grenetina
- Muestras de cada formulación de geles sin pulpa ni azúcar únicamente con agar agar

Metodología

Se determinó el punto de fusión de cada una de las formulaciones de gel de mango en el calorímetro SDT 2960 V3.0F Simultaneous DSC-TGA TA Instruments, los datos fueron analizados en el software Thermal Universal Analysis, obteniendo curvas de diferencias térmicas.

Para saber si existe interacción entre los biopolímeros, se elaboraron y evaluaron muestras de geles que para fines prácticos denominamos “blancos”, ya que no contenían pulpa ni azúcar, es decir, únicamente estaban compuestos de agua y los biopolímeros respetando las concentraciones planteadas.

Además de los geles blancos descritos anteriormente, se elaboraron geles con cada uno de los biopolímeros gelificantes (agar agar y grenetina) por separado, de esta manera es más fácil observar el comportamiento de cada gelificante ya que no hay interferencia de otros componentes.

2.4.2 OBJETIVO PARTICULAR 2

Evaluar el efecto de tres biopolímeros (agar-agar, grenetina y xantana) sobre la textura (dureza y fuerza de ruptura) del gel de mango, a través de una prueba de penetración, que permitirá conocer si la estructura se refuerza por la concentración y tipo de biopolímeros en el sistema, para así obtener un gel que sea resistente y de fácil manipulación.

VARIABLE INDEPENDIENTE: Concentración de polímeros

VARIABLES DEPENDIENTES: Fuerza de penetración

VARIABLES DE RESPUESTA: Dureza y fuerza de ruptura

Materiales

- Muestras de cada formulación de gel de mango

Metodología

Se realizó una prueba de penetración, medición de fuerza en la penetración, obteniendo: la dureza del gel y la fuerza de ruptura de cada una de las muestras con el texturómetro TA-XT2. La velocidad de prueba fue de 2.0 mm/s, la distancia de penetración de 20 mm, utilizando un cilindro de acrílico de 0.5 in (P/0.5 R) y una celda de carga de 5 kg. La muestra que se analizó no fue el gel en forma de espagueti ya que eran demasiado angostos y delgados para realizar la prueba adecuadamente, por lo que se hicieron geles en moldes pequeños, las dimensiones de los geles eran 6 cm de diámetro y 3.5 cm de altura.

2.4.3 OBJETIVO PARTICULAR 3

Evaluar el efecto de tres biopolímeros (agar-agar, grenetina y xantana) sobre el color del gel de mango, a través de la colorimetría con el fin de identificar si algún biopolímero tiene una influencia negativa sobre este parámetro y cual(es) permiten mantener el color característico del mango.

VARIABLE INDEPENDIENTE: Concentración de polímeros

VARIABLES DEPENDIENTES: Escala colorimétrica (CIE L, a y b)

VARIABLES DE RESPUESTA: Índice de Color

Materiales

- Pulpa de mango pH= 5.9, °Brix= 17
- Muestras de cada formulación del gel de mango

Metodología

La prueba de color se realizó en el colorímetro modelo KONICA-MINOLTA, la prueba se hizo a muestras de pulpa de mango y a cada uno de los geles de mango con 5 repeticiones. Se calculó el índice de color con la siguiente ecuación:

$$IC = \sqrt{(L)^2 + (a)^2 + (b)^2} \quad \text{Ecuación 3}$$

Con el fin de comprobar que el color se ve modificado por el tiempo de mezclado, se realizó la determinación del tamaño de fibra en la pulpa de mango, variando el tiempo de mezclado. La medición del tamaño de fibra se realizó con un microscopio electrónico ELECTRONIC PAS, con el lente ocular de 1x y el objetivo 40x después de haber cizallado la pulpa a 3, 6, 9, 12 y 15 minutos.

2.4.4 OBJETIVO PARTICULAR 4

Evaluar el efecto de tres biopolímeros (agar-agar, grenetina y xantana) sobre la estabilidad del gel de mango, a través de un análisis de TGA y un análisis isotérmico para determinar la influencia de la temperatura y el tiempo sobre la pérdida de agua del gel de mango.

VARIABLE INDEPENDIENTE: Concentración de biopolímeros, velocidad de calentamiento

VARIABLES DEPENDIENTES: Porcentaje de peso perdido

VARIABLES DE RESPUESTA: Estabilidad

Materiales

- Muestras de cada formulación del gel de mango

Metodología

Para la prueba de termogravimetría las muestras fueron analizadas en el equipo SDT 2960 V3.0F Simultaneous DSC-TGA, TA Instruments. Los parámetros para dicha prueba fueron: el incremento de temperatura de 10°C/min y el rango de temperatura de 30-200°C. Las muestras fueron de 3-10 mg y contenidas en charolas abiertas de aluminio. Las gráficas obtenidas se analizaron con el software Thermal Universal Analysis y se obtuvieron los porcentajes de peso perdido a las temperaturas de 30, 40 y 120°C.

Para la prueba de pérdida de peso a temperatura constante, se colocaron geles de mango en forma de espagueti dentro de cajas petri, las cuales fueron pesadas en la balanza gravimétrica cada 24 horas durante una semana, conservadas a temperatura constante de 8°C.

2.4.5 OBJETIVO PARTICULAR 5

Determinar la aceptación del gel de mango elaborado con la mezcla de biopolímeros mediante una prueba de aceptabilidad, para definir si las características (dulzor, dureza, color, brillo, sabor y acidez) del gel de mango de diferentes formulaciones son del agrado de los posibles consumidores.

VARIABLE INDEPENDIENTE: Concentración de biopolímeros

VARIABLES DEPENDIENTES: Sabor, acidez, color, brillo, dulzor y dureza

VARIABLES DE RESPUESTA: Aceptabilidad

Materiales

- Muestras de cada formulación del gel de mango

Metodología

Las pruebas de aceptabilidad de sabor, color y textura, se realizaron en el laboratorio a 10 panelistas no entrenados a los cuales se les presentaron muestras de las 7 formulaciones codificadas y fueron evaluadas en el formato de prueba mostrado en la Tabla 11.

Tabla 11. Formato utilizado para la prueba de aceptabilidad de 5 niveles

Pruebe cada una de las muestras y coloque el número correspondiente a la escala que se presenta a continuación en cada uno de los parámetros de sabor, textura y color.

1-Me disgusta mucho 2-Me disgusta 3-Ni me gusta ni me disgusta
4-Me gusta 5-Me gusta mucho

	Muestra/Parámetro	834	543	089	301	792	638	957
SABOR	Dulce							
	Ácido							
	Sabor a mango							
TEXTURA	Dureza							
COLOR	Brillante							
	Amarillo con respecto a la pulpa							

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Determinación del pH de cada formulación

El pH de cada formulación fue determinado con el potenciómetro y los resultados se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12. Potencial de Hidrógeno de cada una de las formulaciones.

Formulación	Espagueti de Mango
1	4.33
2	4.29
3	4.39
4	4.36
5	4.59
6	4.47
7	4.37
Desv. est.	0.093

Las características del gel se ven modificadas cuando se alcanza el punto isoeléctrico¹ de la gretina. El gel presenta mayor turbidez, menor hinchamiento, menor viscosidad, los enlaces son más fuertes y la sinéresis es mayor. Pero estos efectos son poco importantes a bajas concentraciones.

La gretina tipo B, utilizada en la experimentación, tiene un pl en un margen de pH bajo, entre 4.7 y 5.6, el cual no es alcanzado en ninguna de las formulaciones del gel.

En la Tabla 12 se muestra que pH del espagueti de mango en las diferentes formulaciones es el mismo ($S=0.093$), por lo que no representa una variable más en el sistema.

¹ pH en el que la carga eléctrica de la solución es cero, es decir no hay cargas positivas ni negativas

3.2 Influencia de los biopolímeros en el punto de fusión de los geles

Se determinó el punto de fusión de cada uno de los geles de mango obteniendo las curvas de diferencias térmicas que se muestran en la Figura 21.

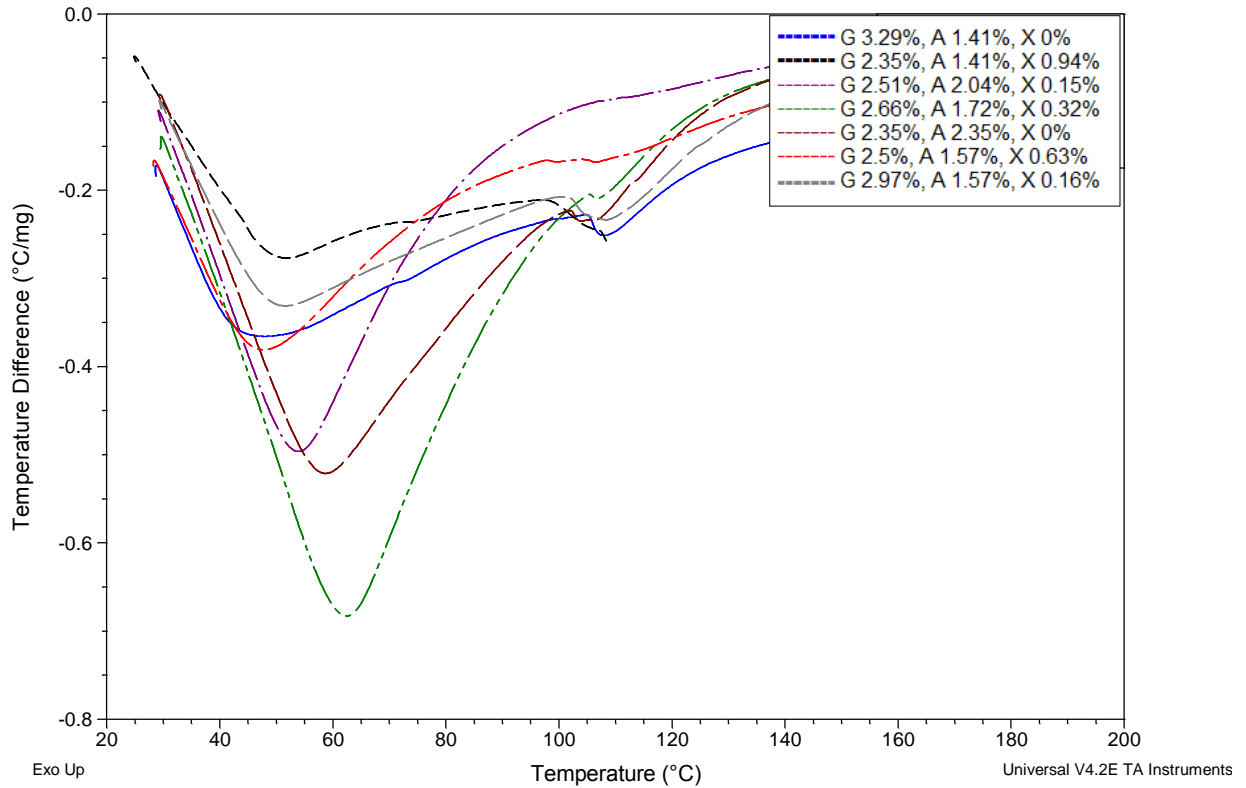


Figura 21. Curvas DTA de las siete formulaciones del gel de mango.

En la Tabla 13 se muestra con mayor claridad el punto de fusión alcanzado por cada uno de los geles analizados y el porcentaje de cada uno de los biopolímeros.

Tabla 13. Puntos de fusión de cada una de las formulaciones.

Formulación	1	2	3	4	5	6	7
Grenetina (%)	2.35	2.51	3.29	2.66	2.35	2.5	2.97
Agar-Agar (%)	1.41	2.04	1.41	1.72	2.35	1.57	1.57
Xantana (%)	0.94	0.15	0	0.32	0	0.63	0.16
Pto. Fusión (°C)	49.37	53.86	46.9	62.28	58.13	47.76	50.48

En el análisis estadístico se obtuvieron los coeficientes de cada biopolímero así como el de las mezclas entre ellos (Ver anexos). Coeficientes positivos indican mayor influencia de los componentes en el punto de fusión, por otro lado, coeficientes negativos indican que los biopolímeros no influyen. En la Figura 46 (ver anexos) se observa que combinando grenetina y agar (119753) se alcanzan los mayores puntos de fusión del gel ($t= 255.91$, $p= 0.031$), lo cual es favorable puesto que entre más elevado sea el punto de fusión, el gel es más estable con respecto a la temperatura. Sin embargo la formulación 4 que contiene 0.32% de xantana es la que obtuvo el mayor punto de fusión como se puede ver en la Figura 21 y Tabla 13. Lo anterior se debe a que a esas concentraciones de biopolímeros el agar y la grenetina forman una triple hélice que adquiere una mayor fuerza al replegarse y formar una estructura tridimensional atrapando dentro de ella al agua, a la vez que la doble hélice de la goma xantana se ordena con las zonas no sustituidas del agar (agarosa) formando una red más fuerte.

El hecho de que la grenetina y el agar combinados proporcionen altos puntos de fusión se debe a que en el sistema existen interacciones entre los gelificantes de naturaleza física, mediante la asociación cooperativa entre cadenas de polímeros diferentes, formando zonas mixtas de unión análogas a las zonas de unión presentes en los geles mono-componentes; o mediante asociaciones cadena-cadena debido a la atracción entre cargas opuestas (Fresno *et al.*, 2007), como es el caso del agar teniendo grupos sulfatados (negativos) y la grenetina con grupos amino (positivos) al encontrarse en un medio ácido, lo cual resulta en una red no tan rígida como la que se forma en geles de agar pero tampoco tan suave como la que se da con grenetina.

Se puede ver claramente que no sólo el tipo de biopolímero tiene un efecto directo sobre el punto de fusión del gel, sino que la concentración de éstos es todavía más decisiva en dicho parámetro. Esto se justifica ya que al incrementar excesivamente la concentración de uno de los biopolímeros se puede saturar el sistema dado que existe mayor cantidad de una misma carga, generando huecos más grandes dentro de las redes del gel, disminuyendo su punto de fusión.

De igual forma al modificar la concentración de los biopolímeros, se modifica también el pH, ya que la gretina queda con más o menos grupos amino libres, lo cual interfiere directamente en la interacción con los demás componentes del sistema.

El segundo punto de fusión más elevado es el de la formulación 5, que no contiene xantana y tiene igual concentración de agar y gretina pero el agar de esta formulación se encuentra en la concentración más alta, en cambio, la formulación 3 tampoco contiene xantana pero tiene el punto de fusión más bajo, lo cual indica que el agar tiene mayor influencia en el aumento del punto de fusión, ya que los geles de agar al 1.5% tienen una temperatura de fusión de 85°C aproximadamente (Imeson, 1999), sin embargo estando en presencia de una fase dispersa de pulpa de mango, las fibras impiden que la red sea lo suficientemente fuerte ya que obstaculizan las zonas de unión entre moléculas, lo cual da lugar a un punto de fusión alto pero no como el de un gel únicamente con agar. El agar forma una red con interacciones entre las dobles hélices conectadas por las zonas de unión, es decir, pueden haber muchas dobles hélices unidas formando un gel con mucha fuerza, por otro lado la gretina forma triples hélices, pero dos de las cadenas son provenientes de la gretina y la tercera de una molécula diferente, sin asociarse más cadenas, siendo la fuerza del gel menor que la de un gel de agar.

3.3 Influencia de la pulpa de mango y el azúcar en cada formulación

A continuación se presentan las gráficas del análisis térmico diferencial, en cada una se muestra la curva del gel de mango con su respectivo gel elaborado únicamente con agua y los biopolímeros con el fin de identificar la influencia de la pulpa y el azúcar en cada gel, ya que al añadir la pulpa y el azúcar el pH del medio disminuye.

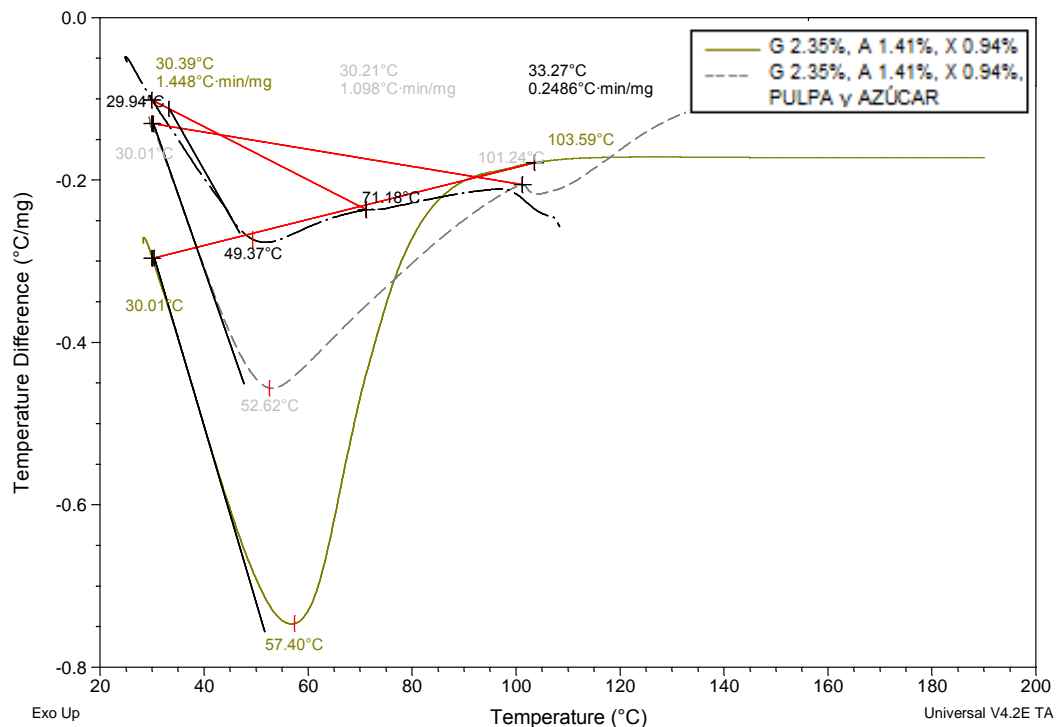


Figura 22. Curvas DTA del gel de mango con G 2.35%, A 1.41%, X 0.94% y el gel elaborado únicamente con los biopolímeros.

Se observa en la Figura 22 que el punto de fusión del gel blanco (56.78°C) es mayor al del espagueti de mango (49.37°C) en un 13%, lo cual implica que la pulpa provoca una menor estabilidad en el gel con respecto a la temperatura. Lo anterior se debe a la existencia de fibras en la pulpa, impidiendo físicamente la formación de la red del gel. Por otro lado, dicha formulación contiene la menor concentración de agar, lo cual también puede influir en la fuerza del gel.

En la gráfica del gel elaborado con mango se observa una segunda curvatura ligera, lo cual indica la descomposición o ruptura de las cadenas de compuestos con mayor peso molecular a los volátiles (Antolín & Oliva, 2003). Este segundo pico se muestra en todas las gráficas de los espaguetis de mango con diferente formulación.

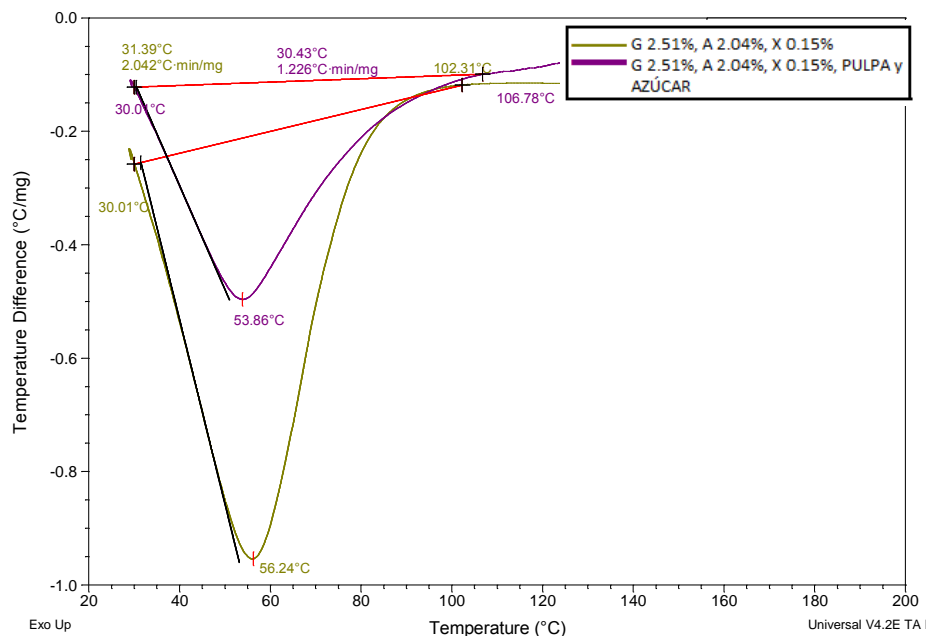


Figura 23. Curvas DTA del gel de mango con G 2.51%, A 2.04%, X 0.15% y el gel elaborado únicamente con los biopolímeros.

En el caso del gel con 2.51% de grenetina, 2.04% de agar y 0.15% de xantana, (Figura 23), el punto de fusión (53.86°C) es menor que su gel blanco (56.24°C) solo en un 4%, es decir, la pulpa no influye de forma significativa en su estabilidad.

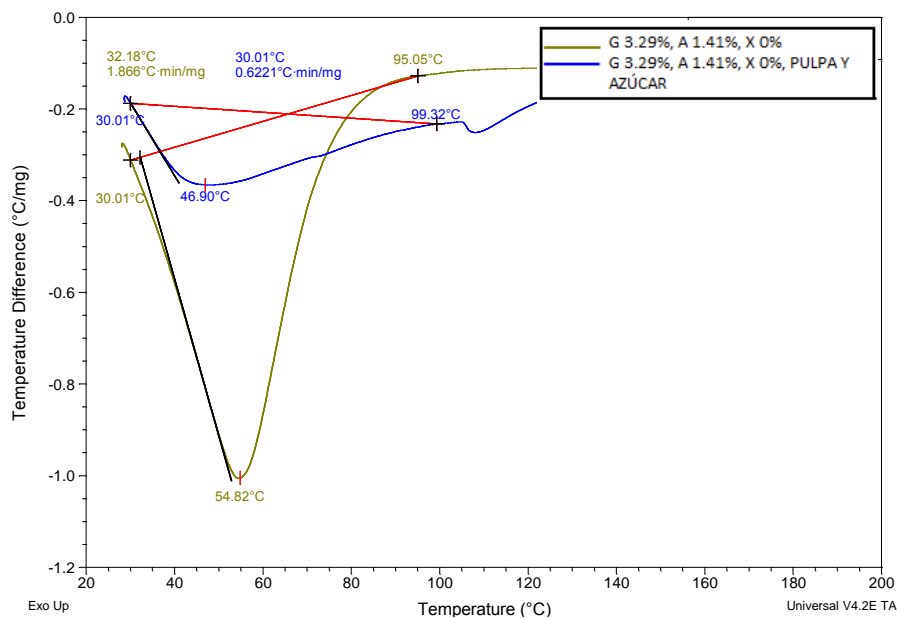


Figura 24. Curvas DTA del gel de mango con G 3.29%, A 1.41%, X 0% y el gel elaborado únicamente con los biopolímeros.

Como se observa en la Figura 24, el gel con la formulación 3.29% gren. y 1.41% agar (46.9°C) presenta un punto de fusión menor en un 14.5% con respecto a su gel blanco (54.82°C), de manera muy parecida a la primera formulación (Figura 22), con la cual solo tiene en común la concentración de agar, esto es un indicio de que dicho biopolímero es el que tiene mayor influencia en el punto de fusión por el entrecruzamiento de sus dobles hélices, formando redes más firmes.

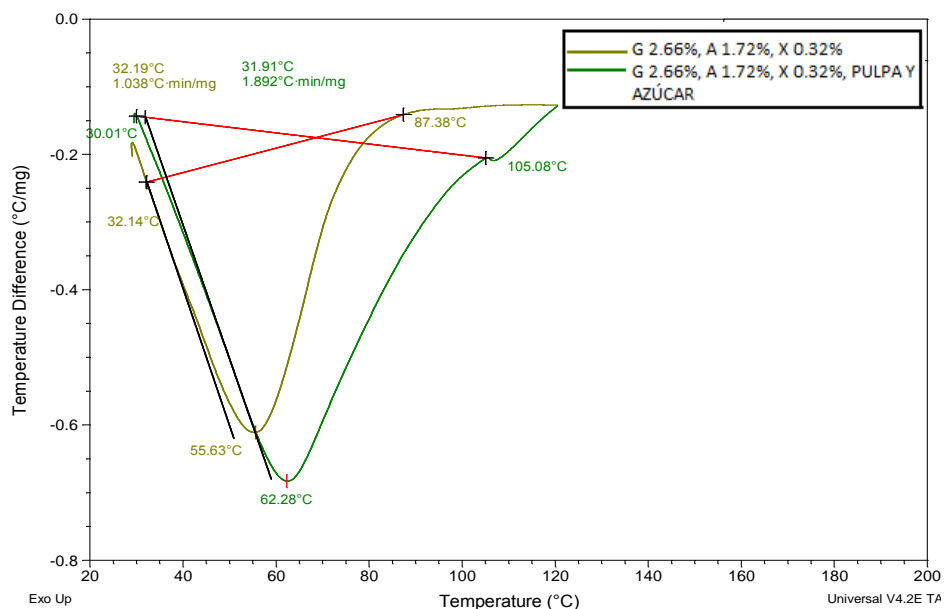


Figura 25. Curvas DTA del gel de mango con G 2.66%, A 1.72%, X 0.32% y el gel elaborado únicamente con los biopolímeros.

En la Figura 25, el gel con 2.66% gren., 1.72% agar y 0.32% xan. (62.28°C) contrario a los anteriores, presenta un aumento en el punto de fusión del 10.7% con respecto a su gel blanco (55.63°C), al igual que una gran energía para la descomposición del gel y teniendo el punto de fusión mayor de todas las formulaciones. Podría pensarse que en todos los casos los geles elaborados con pulpa de mango tendrían un punto de fusión menor al del gel blanco por la obstrucción de las fibras de mango en el sistema, sin embargo no es así, lo cual se debe a que al cambiar la concentración de los biopolímeros también cambian las interacciones no sólo entre ellos sino también con el azúcar y la pulpa de mango. En algunos casos el agar reacciona con el azúcar, incrementando la fuerza del gel y de este modo el punto de fusión (Imeson, 1999).

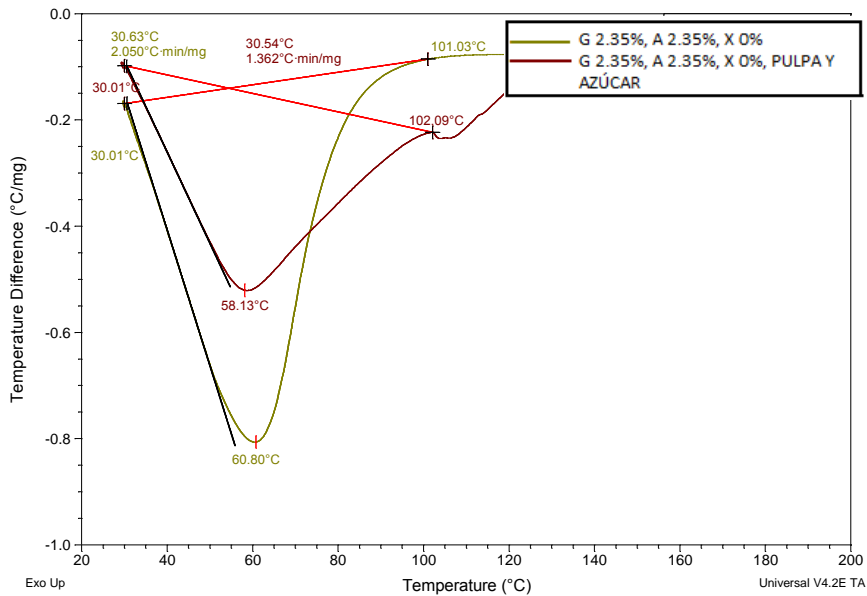


Figura 26. Curvas DTA del gel de mango con G 2.35%, A 2.35%, X 0% y el gel elaborado únicamente con los biopolímeros.

Como se observa en la Figura 26, el punto de fusión del gel blanco (60.8°C) es mayor al del gel de mango (58.13°C) en un 4.4%, de igual manera que el gel 2, presentando un comportamiento muy parecido.

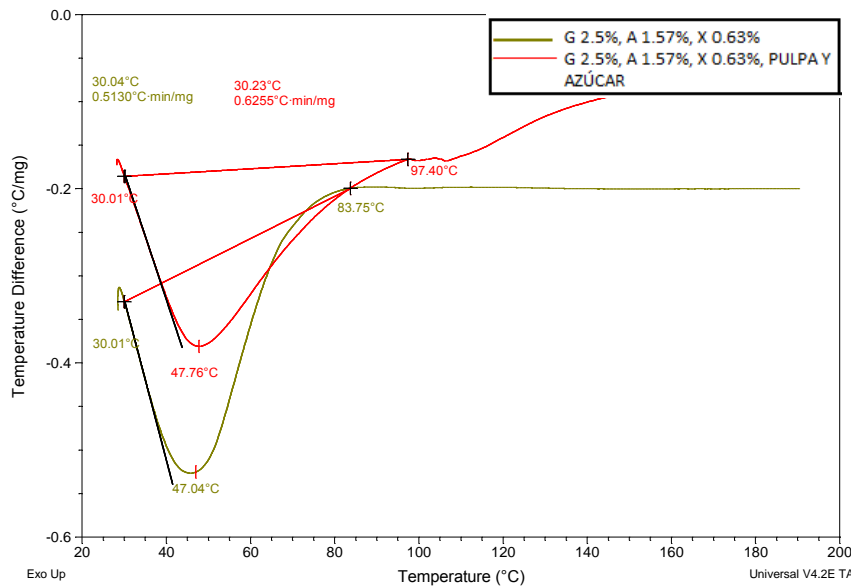


Figura 27. Curvas DTA del gel de mango con G 2.5%, A 1.57%, X 0.63% y el gel elaborado únicamente con los biopolímeros.

En el caso del gel 6 (47.76°C), su punto de fusión es casi igual al de su gel blanco (47.04°C), como se puede ver en la Figura 27, comportándose de forma parecida al gel 2 y 5. Lo cual muestra que la concentración de los biopolímeros marca la estabilidad del sistema pero no sólo porque interactúen entre ellos y con el agua libre sino también por sus enlaces con la pulpa y azúcar.

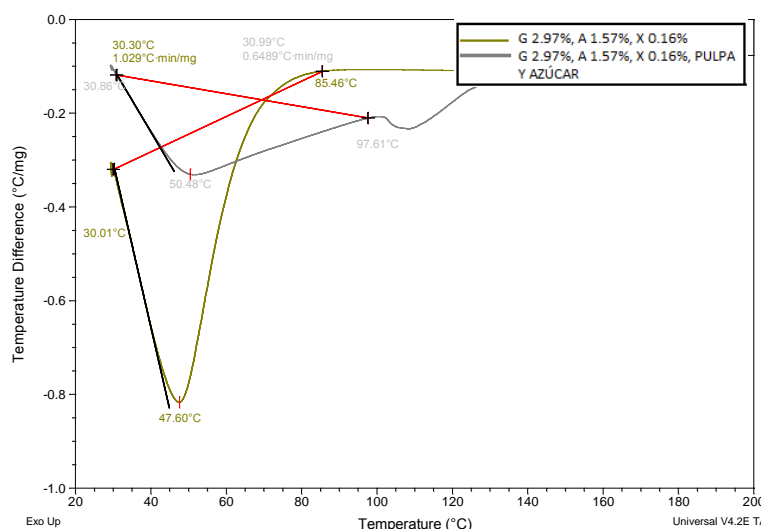
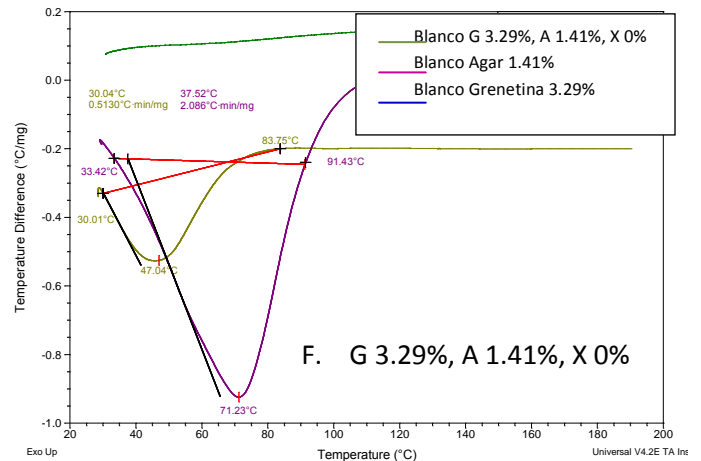
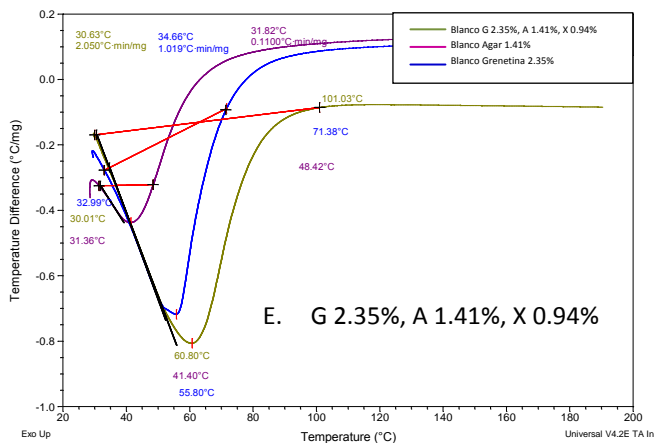
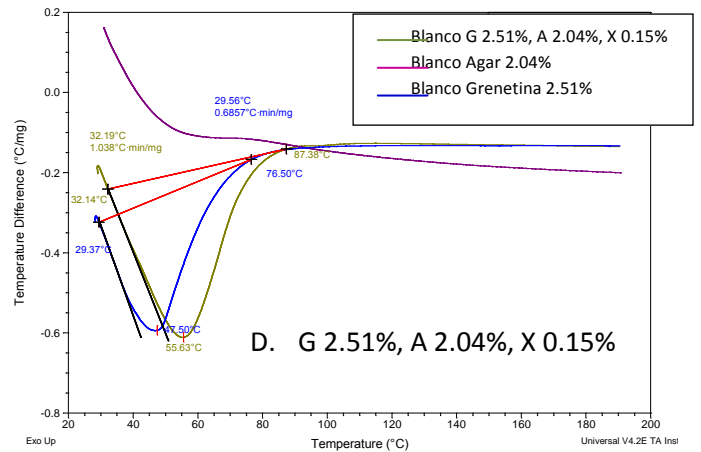
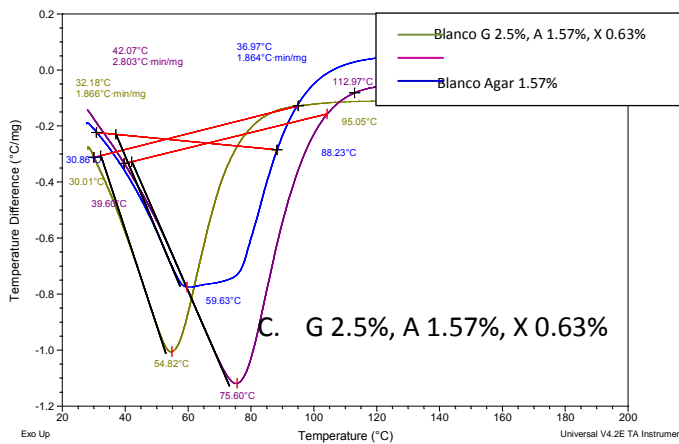
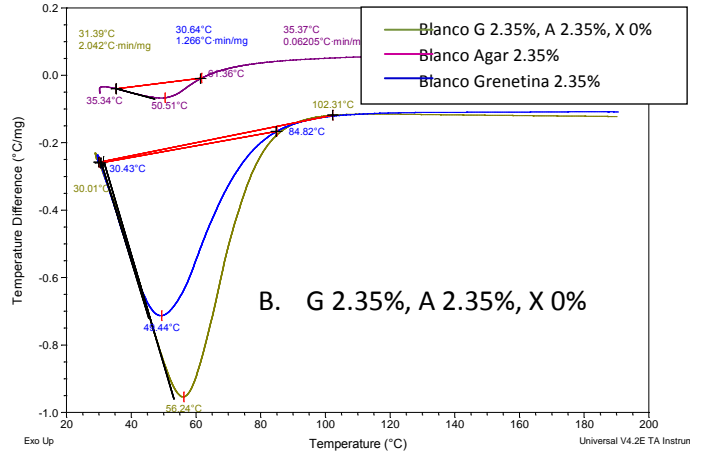
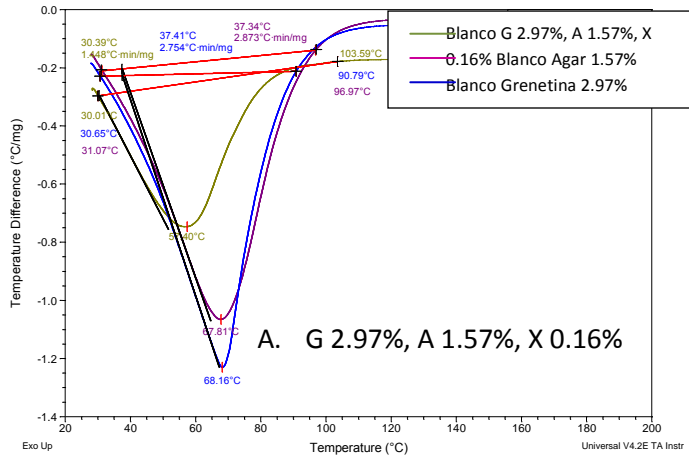


Figura 28. Curvas DTA del gel de mango con G 2.97%, A 1.57%, X 0.16% y el gel elaborado únicamente con los biopolímeros.

El gel 7 (50.48°C) se comporta de la misma manera que el gel 4, puesto que su punto de fusión es mayor al del gel blanco (47.6°C) casi por 6% (Figura 28). Como ya se mencionó, al cambiar la concentración de los biopolímeros, éstos se reacomodan generando nuevas uniones. El gel 4 y 7 tienen en común concentraciones intermedias en todos los biopolímeros, es decir, no tienen las máximas ni las mínimas concentraciones de todas las formulaciones, lo cual quiere decir que a concentraciones intermedias de los biopolímeros los azúcares presentes forman puentes de hidrógeno con ellos, incrementando la estabilidad y el número de zonas de unión (Ribeiro, 2004).

Todas las curvas de los geles de mango presentan una segunda curvatura pequeña, lo cual indica la descomposición de un compuesto (Hatakeyama & Quinn, 2000), puede tratarse de la degradación del beta caroteno del mango, ya que éste se descompone alrededor de los 97°C (Kanasawud & Crouzet, 1990).

Para saber si existe interacción entre los biopolímeros se elaboraron y evaluaron muestras de cada uno de los biopolímeros por separado evaluando la energía necesaria para que se dé la transición gel-sol.



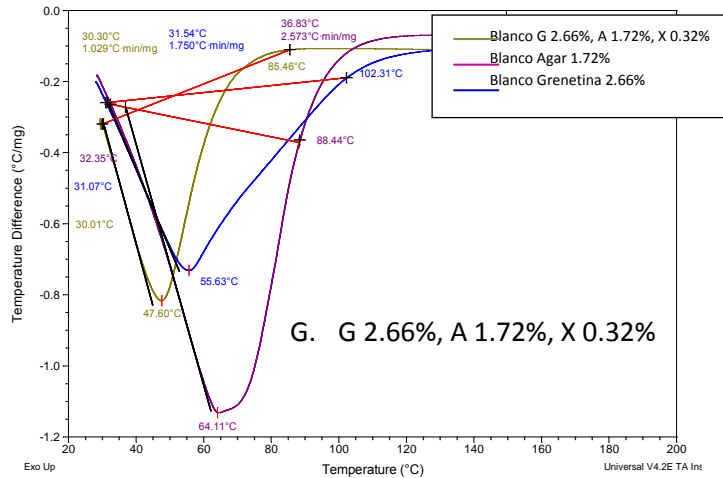
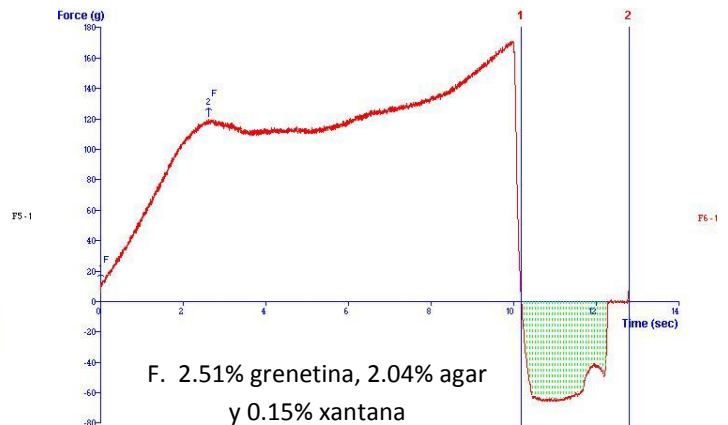
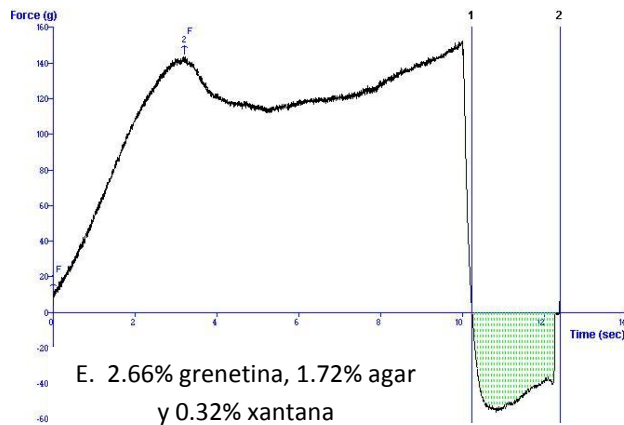
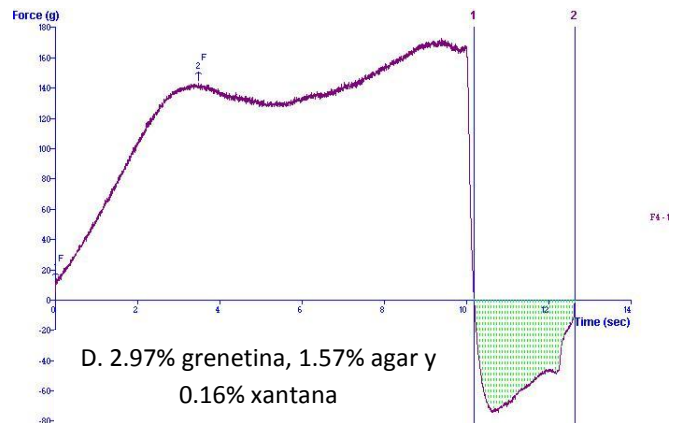
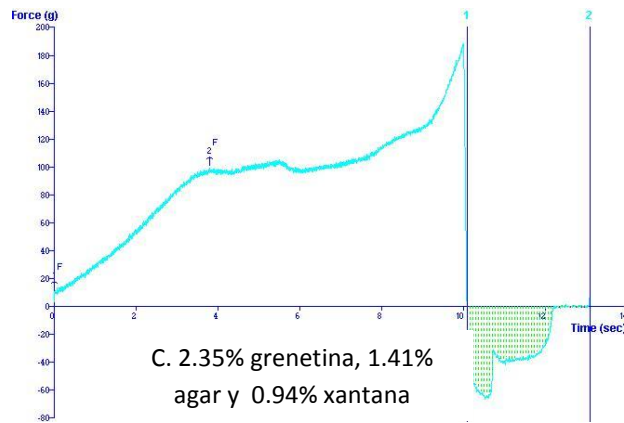
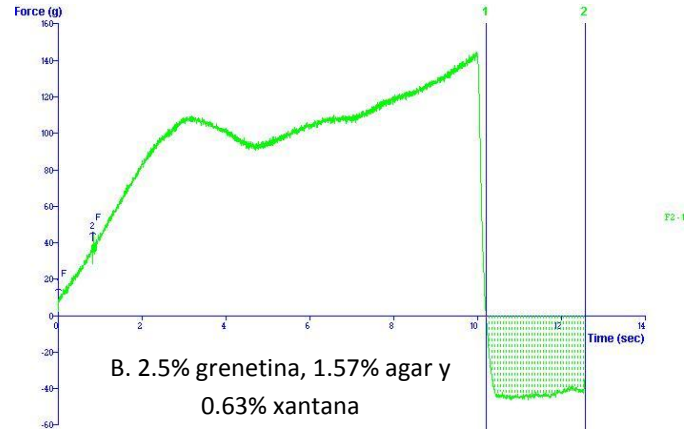
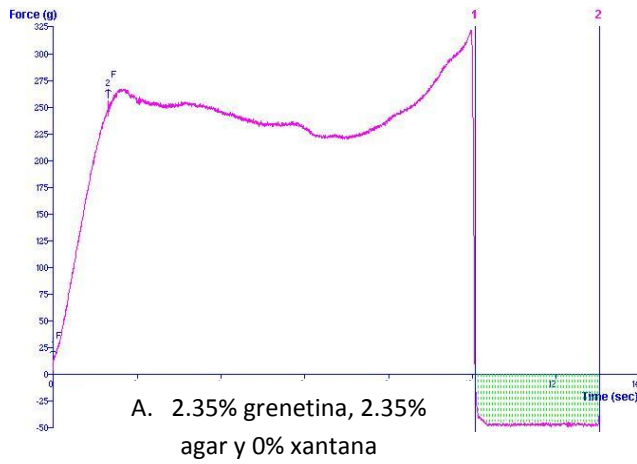


Figura 29. Curvas DTA de cada una de las formulaciones, cada inciso muestra la curva del gel blanco contrastada con la del gel de agar y grenetina únicamente.

En la Figura 29 se demuestra que al combinar los dos biopolímeros se obtiene un punto de fusión y comportamiento distinto que si se evalúan por separado a las mismas concentraciones, es decir, existen interacciones entre ellos que pueden reforzar la estructura o hacerla más débil; en las formulaciones G 2.51%, A 2.04% y X 0.15%; G 2.66%, A 1.72% y X 0.32%; y G 2.35%, A 2.35% y X 0% (Figura 27; B, D y G) se observa una mayor influencia en el aumento del punto de fusión de los geles y en las formulaciones G 2.35%, A 1.41% y X 0.94%; G 3.29%, A 1.41% y X 0%; G2.5%, A 1.57% y X 0.63%; y G 2.97%, A 1.57%, X 0.16% un evidente antagonismo (Figura 27; A, C, E y F). Esto se debe a que las primeras tienen las más altas concentraciones de agar, siendo este biopolímero el que mayor estabilidad proporciona al sistema con respecto a la temperatura al interactuar con la grenetina, así mismo la adición de goma xantana no contribuye significativamente al aumento del punto de fusión al no formar redes, reafirmando lo que se observa en la Figura 46. Gráfica de superficie del punto de fusión.

3.4 Influencia de los biopolímeros en la fuerza de ruptura y dureza de los geles

En la Figura 30 se muestran las curvas de la prueba de penetración de cada una de las formulaciones.



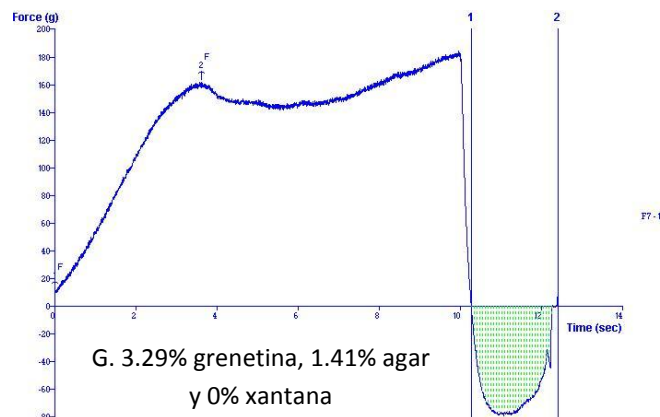


Figura 30. Curvas de la prueba de penetración de cada una de las formulaciones.

En la Tabla 14 se muestran con mayor claridad los datos de fuerza de ruptura y dureza de cada uno de los geles analizados.

Tabla 14. Datos de dureza y fuerza de ruptura de cada una de las formulaciones.

	Dureza (g)	Fuerza de Ruptura (g)
G 2.35%, A 1.41%, X 0.94%	188.10	99.493
G 2.51%, A 2.04%, X 0.15%	173.05	120.362
G 3.29%, A 1.41%, X 0%	185.02	162.029
G 2.66%, A 1.72%, X 0.32%	153.20	135.900
G 2.35%, A 2.35%, X 0%	322.80	256.232
G 2.5%, A 1.57%, X 0.63%	145.30	109.110
G 2.97%, A 1.57%, X 0.16%	171.90	143.623

En el análisis estadístico se obtuvieron los coeficientes de cada biopolímero así como el de las mezclas entre ellos (Ver anexos) los cuales se muestran entre paréntesis en el análisis. Coeficientes positivos indican mayor influencia de los biopolímeros en la dureza y en la fuerza de ruptura, por otro lado, coeficientes negativos indican que los biopolímeros no influyen.

La mayor dureza (322.8 g) y fuerza de ruptura (256.23 g) del gel la obtuvo la formulación con mayor cantidad de agar, teniendo en la misma concentración a la

grenetina ($t= 0.32$, $p= 0.063$), esto se debe a la estructura de triple hélice similar a la del colágeno, dos de las cadenas provienen de una molécula de grenetina y la tercera de una molécula de agar, las cadenas de agar se van agregando formando una red tridimensional de interacciones entre las dobles hélices conectadas por las zonas de unión, formando un gel muy firme. La asociación entre cadenas ocurre por la agregación lateral a través de puentes de hidrógeno, es decir, por entrecruzamiento “físico”.

Comparando la tercera formulación de la Tabla 14 con la quinta formulación, ambas tienen en común que no contienen xantana, sin embargo las durezas y las fuerzas de ruptura son mucho mayores en la formulación que contiene la mayor cantidad de agar, lo cual se confirma al ver los coeficientes (fuerza de ruptura 24151 y dureza 129645) indicando que el agar es el biopolímero que mayor influencia tiene en la dureza y en la fuerza de ruptura.

Por otro lado, la menor fuerza de ruptura se dio en el gel con menor concentración de grenetina y de agar y mayor concentración de xantana (-1814), lo cual no es deseable puesto que el gel es menos resistente, dicho comportamiento se debe a que se redujo la concentración de agentes gelificantes y se aumentó la goma xantana, por lo tanto la red del gel se debilitó.

En cuanto a la grenetina (fuerza de ruptura 15232 y dureza 22511), no es el biopolímero que forma una red más fuerte, ya que en las formulaciones donde se encuentra en mayor proporción las durezas son intermedias, lo cual indica que en geles formados con grenetina hay menor número de enlaces en la red, ya que geles con más enlaces entre cadenas son más rígidos (Ockerman & Hansen, 2000).

3.5 Influencia de los biopolímeros en el color de los gelesu

En la Figura 31 se muestra la diferencia en cada uno de los parámetros (L, a, b) entre la pulpa y los geles, ya que el color deseado o de referencia es el propio de la pulpa de mango.

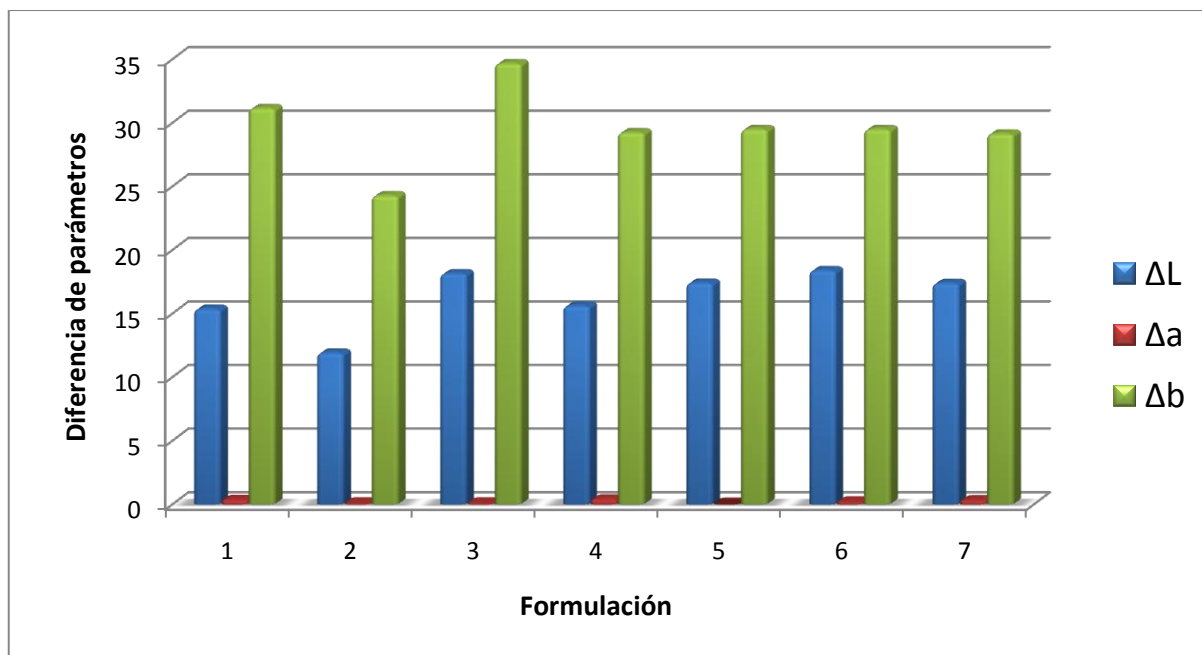


Figura 31. Diferencia entre los parámetros L, a y b y la pulpa de mango.

En la Figura 31 se muestra la diferencia de cada uno de los parámetros de color de cada una de las formulaciones y la pulpa de mango, se observa poca diferencia en el parámetro “a”, con una desviación estándar de 0.1512, en los parámetros L y b donde se halla una diferencia significativa indicando que, el proceso y la adición de componentes a la pulpa modifican su color.

Tabla 15. Diferencia en parámetros de color entre pulpa y formulaciones

Formulación	ΔL	Δa	Δb
1	15.3650	0.3442	31.1492
2	11.9125	0.0629	24.2854
3	18.1488	0.0654	34.6729
4	15.6088	0.3867	29.2492
5	17.4138	0.0154	29.5029
6	18.3975	0.1792	29.4967
7	17.3900	0.3017	29.1442
Media	16.1685	0.1242	29.5032
Desv. est.	2.2674	0.1512	3.0746

Como se puede observar en la Figura 31 y la Tabla 15, las diferencias más notables son tanto en L como en b, dado que en “a”, que indica los colores de rojo a verde, la diferencia es casi imperceptible. La formulación que tiene menor diferencia tanto en L como en b, es la Formulación 3 (2.51% grenetina, 2.04% agar y 0.15% xantana).

La luminosidad es afectada positivamente por la concentración de agar y grenetina, ya que con concentraciones medias de estos se alcanza la mayor luminosidad. La concentración de xantana no es un factor determinante en cuanto a la luminosidad.

La mezcla de los tres biopolímeros se obtiene valores altos de “b”, sin embargo, son más altos cuando solo se utiliza grenetina y agar a concentraciones medias. Al utilizar únicamente un biopolímero, el valor de “b” disminuye significativamente. La mezcla grenetina-xantana tiene un efecto negativo sobre éste parámetro.

Para analizar el color del espagueti de forma global, se calculó el índice de color y se obtuvieron los siguientes resultados:

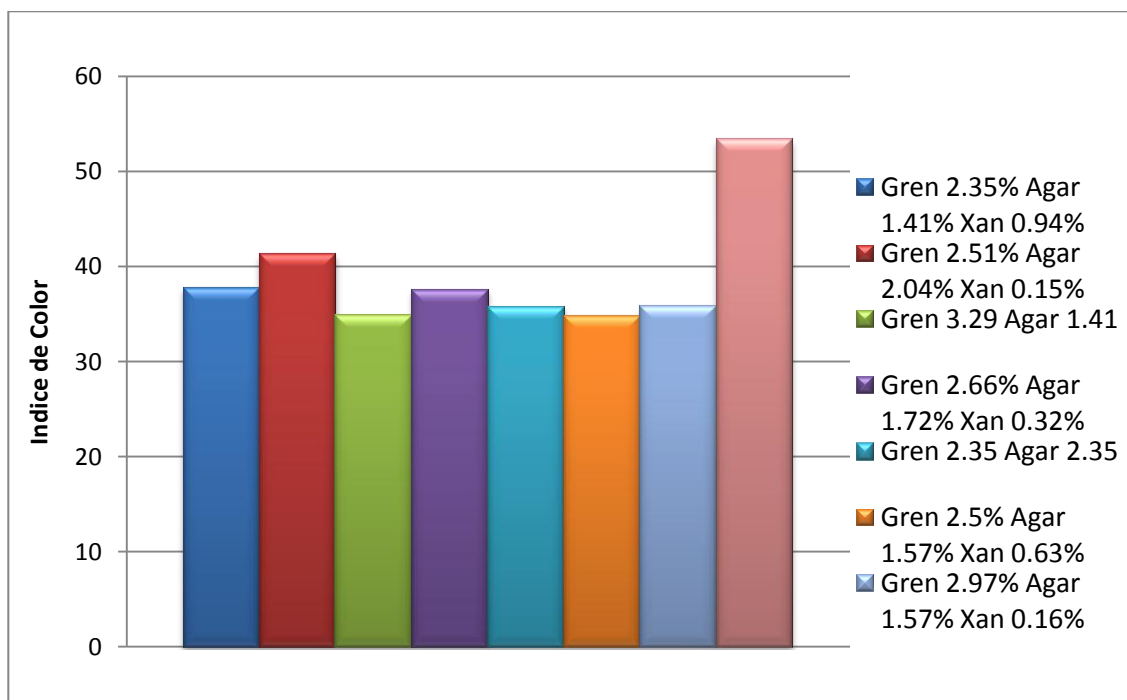


Figura 32. Gráfica del Índice de Color de cada una de las siete formulaciones y la pulpa de mango.

Tabla 16. Índice de color de las siete formulaciones y de la pulpa de mango

Formulación	ΔE
1	37.77
2	41.29
3	34.96
4	37.55
5	35.76
6	34.78
7	35.78
Pulpa mango	53.37
Media	38.53
Desv. Est.	6.21

Para el análisis estadístico del índice de color también se calcularon los coeficientes, de esta manera se podría analizar con claridad que biopolímero influía más en el color del espagueti de mango, pero los coeficientes fueron muy cercanos entre ellos, desde 831.2 hasta 832.4, lo cual indica que los biopolímeros no tienen influencia en el color. En la Figura 49. Gráfica de superficie del índice de color, también se puede observar que el índice de color no es afectado por la concentración de los biopolímeros, por lo que se concluye que todas las formulaciones tienen el mismo color, el cual va a depender únicamente de las condiciones de mezclado: la inclusión de aire y fragmentación de fibras.

Lo anterior también se observa en la Figura 32 y Tabla 16, ya que el índice de color es muy similar entre todas las formulaciones. El índice de color de la pulpa es relativamente alto comparado con el espagueti de mango, a pesar de ello la formulación 2 tiene el índice de color más alto, esto se debe como se observa en la Figura 31, a que el parámetro “b” tiene una menor diferencia con “b” de la pulpa de mango, al igual que en L, es decir el gel tiene menor color amarillo que el de la pulpa y es más oscuro sin embargo es el más parecido a la pulpa en cuanto al color.

3.6 Influencia del tiempo de mezclado en el tamaño de fibra

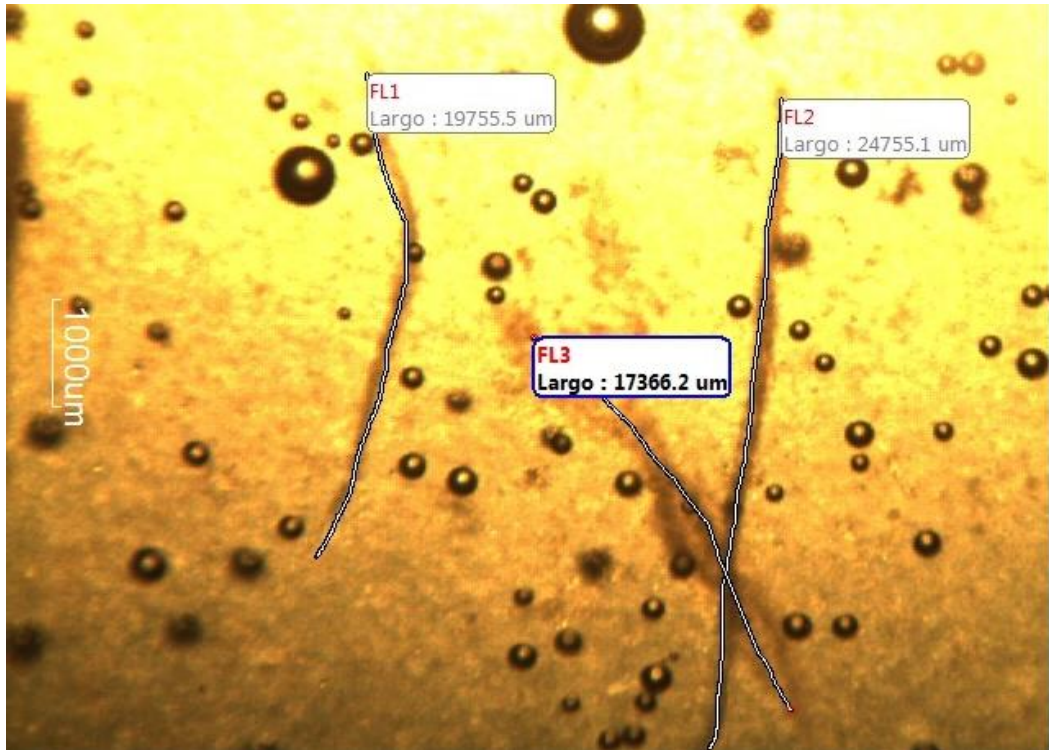


Figura 33. Fotografía de la Pulpa de Mango batida durante 9 minutos.

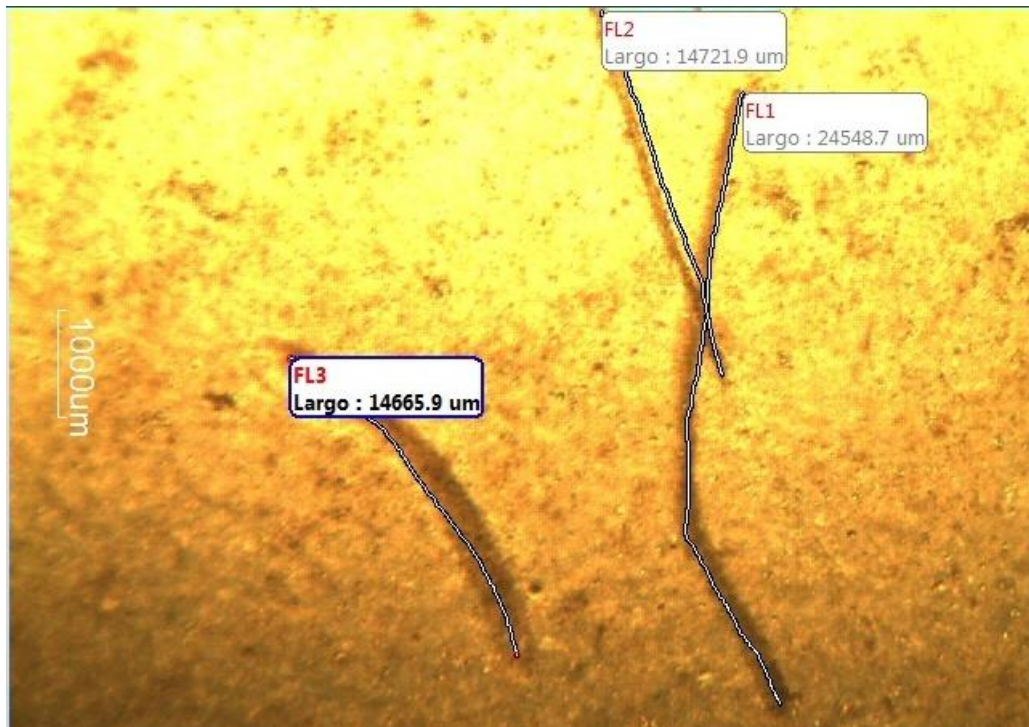


Figura 34. Fotografía de la Pulpa de Mago batida durante 12 minutos.

Con el fin de observar con mayor claridad la relación que guardan el tiempo de mezclado y el tamaño de fibra se presenta la siguiente gráfica:

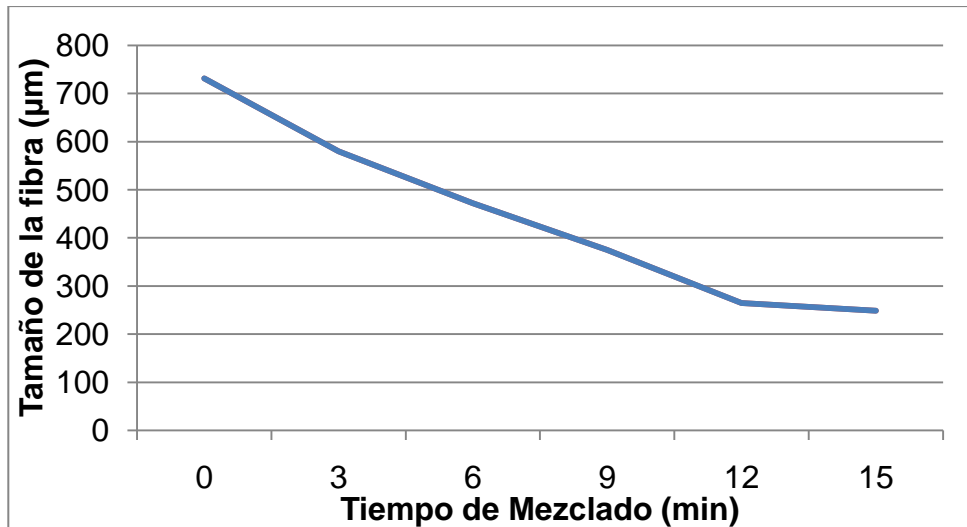


Figura 35. Tamaño de fibra de la pulpa de mango

En la Figura 35 se muestra que durante el mezclado ocurre el cizallamiento de las fibras, lo cual afecta directamente el color final de las muestras de espagueti de mango resultando en un aumento del índice del color, directamente proporcional al tiempo de mezclado. Lo anterior se observa en las **Figura 1** figuras 33 y 34, ya que después de haber cizallado la pulpa durante 3 minutos más, las fibras tienen un menor tamaño.

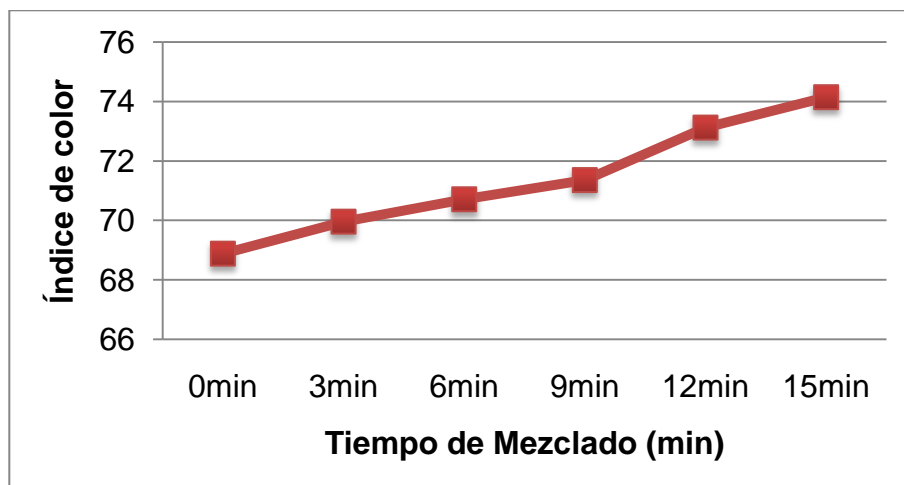


Figura 36. Índice de color de pulpa de mango cizallado

En la Figura 36 se observa claramente que mientras más se cizalla la pulpa de mango, mayor es su índice de color, esto debido a que se incorpora mayor cantidad de aire volviendo el producto más turbio y sobre todo el tamaño de las fibras de mango se reduce, permitiendo que la luz atravesase con mayor facilidad y se perciba un color más claro.

3.7 Pérdida de peso de cada formulación con respecto a la temperatura

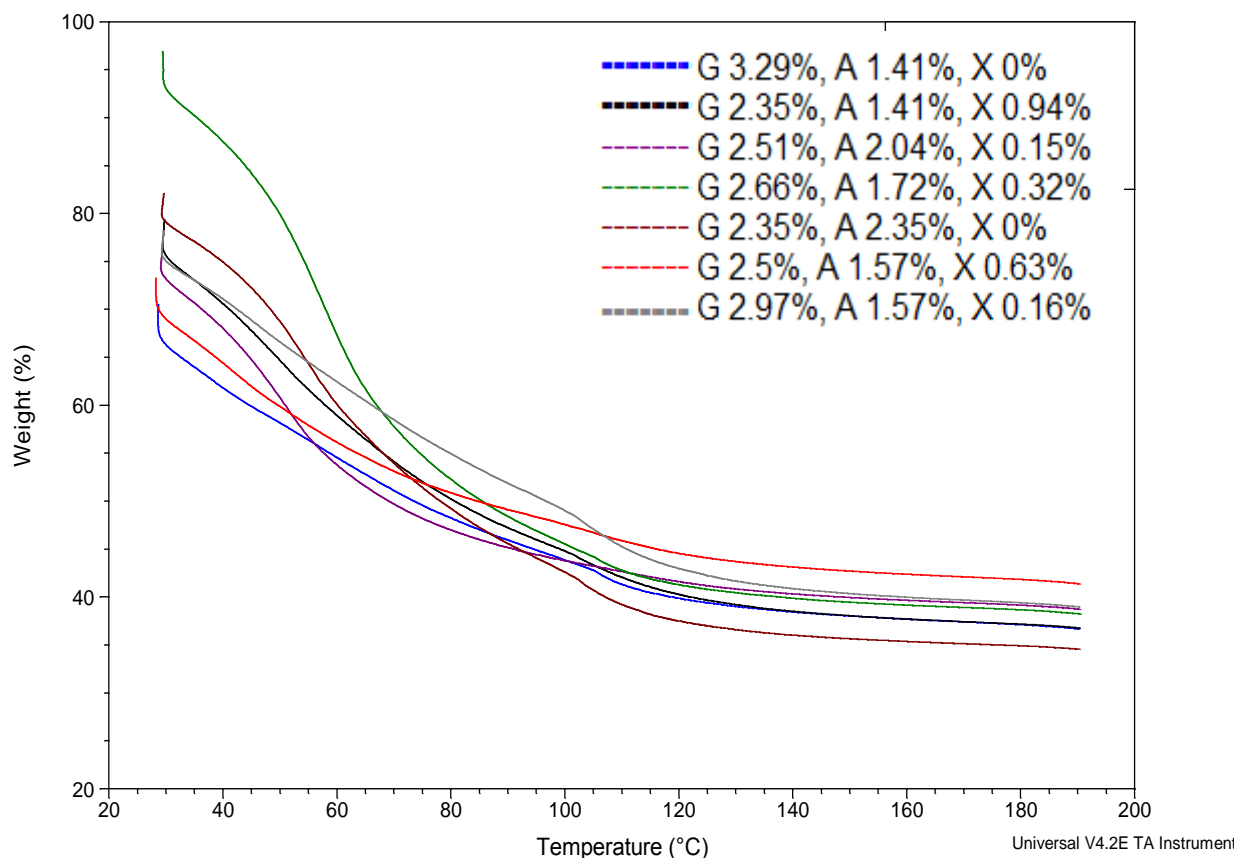


Figura 37. Curva de TGA de las siete formulaciones del espagueti de mango.

En la Figura 37 se muestra la pérdida de peso con respecto al aumento de temperatura de cada una de las siete formulaciones.

Se observa que la formulación G 2.66%, A 1.72% y X 0.32% es la formulación que pierde menor cantidad de agua de 30-65°C, esto se debe a que las redes que forman captan mayor cantidad de agua gracias a la presencia de la goma xantana, ya que la fracción lineal del agar agar (agarosa) se ordena con la hélice de la

xantana (Ledward, 2000) y a su vez el agar forma una triple hélice con la grenetina, lo cual hace que dicha formulación también tenga el mayor punto de fusión.

Por el contrario la formulación G 2.35%, A 1.41% y X 0.94% probablemente tiene involucradas fuerzas débiles del tipo Van Der Waals lo cual provoca un gel inestable y débil (Whitney, 1977), por lo tanto también hace que tenga la menor fuerza de ruptura del gel como lo muestra la Tabla 14. Datos de dureza y fuerza de ruptura de cada una de las formulaciones.

Mediante el software Thermal Universal Analysis se analizaron las gráficas y se obtuvieron los porcentajes de peso perdido a las temperaturas de 30, 40 y 120°C, tal como se muestra en la siguiente gráfica.

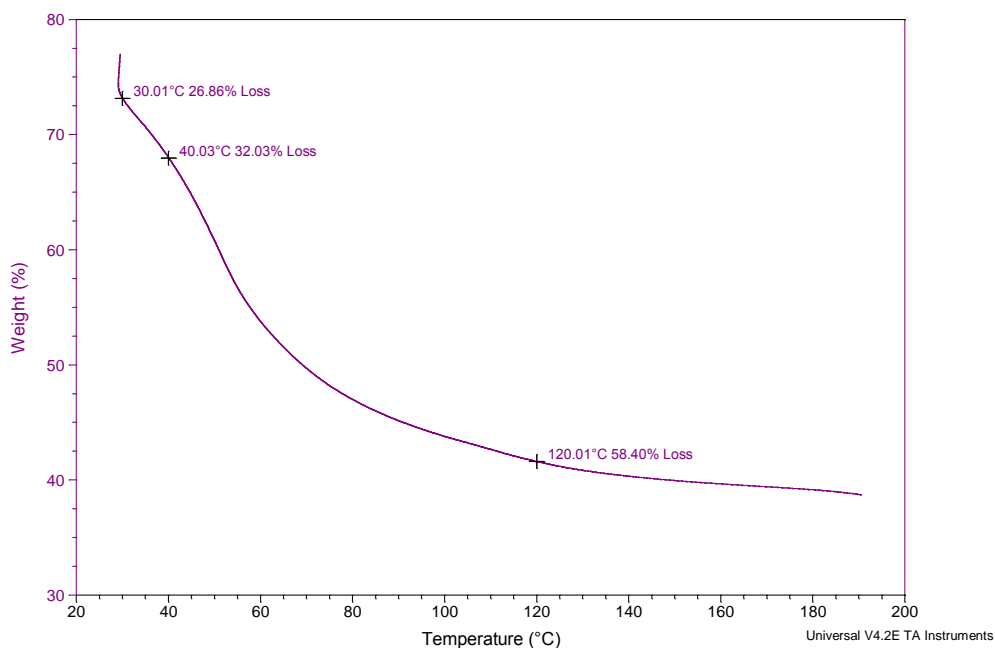


Figura 38. Curva TGA del espagueti de mango con formulación 2

La siguiente tabla muestra el porcentaje de peso perdido a la temperatura de 30 y 40°C de cada una de las formulaciones, se eligieron estas temperaturas ya que 30°C es la temperatura más baja a la que se puede realizar la prueba y 40°C se tomó también puesto que en lugares muy calurosos se puede llegar a ésta temperatura ambiente y se desea conocer la estabilidad del gel en dichas condiciones.

Tabla 17. Porcentaje masa perdida de la muestra a temperatura de 30 y 40°C.

Muestra	% peso perdido (30°C)	% peso perdido (40°C)	% peso perdido (120°C)
1	24.44	55.61	59.77
2	26.86	32.03	58.40
3	33.73	38.22	60.14
4	6.993	12.54	58.72
5	20.94	25.10	62.53
6	31.03	35.64	55.45
7	24.99	28.95	57.04

Se puede observar en la Tabla 17 que la formulación 4 (Gren 2.66%, Agar 1.72%, Xantana 0.32%), es más estable que las demás formulaciones, ya que a 30°C únicamente ha perdido el 7%, mientras que las demás perdieron entre 21 y 34% de su peso inicial. Las curvas muestran que a temperaturas de 30-65°C la formulación 4 mantiene un porcentaje en peso por encima de las demás. A la temperatura de 120°C los geles perdieron un porcentaje en peso muy similar, con una desviación estándar de 2.1, es decir a una alta temperatura ya han perdido el mismo porcentaje de peso, por lo que se considera de mayor importancia el primer rango de temperaturas para su análisis. Sin embargo, como se mencionó anteriormente al tener la restricción de la temperatura mínima de la prueba de termogravimetría (30°C), la pérdida de agua a temperaturas más bajas no es analizada, por tal motivo se realizó la prueba de sinéresis posteriormente.

3.8 Pérdida de peso de los geles a temperatura constante

Se calculó el peso perdido de cada muestra durante el periodo de prueba, expresado en términos de porcentaje con respecto al peso inicial de la muestra, obteniendo los siguientes resultados:

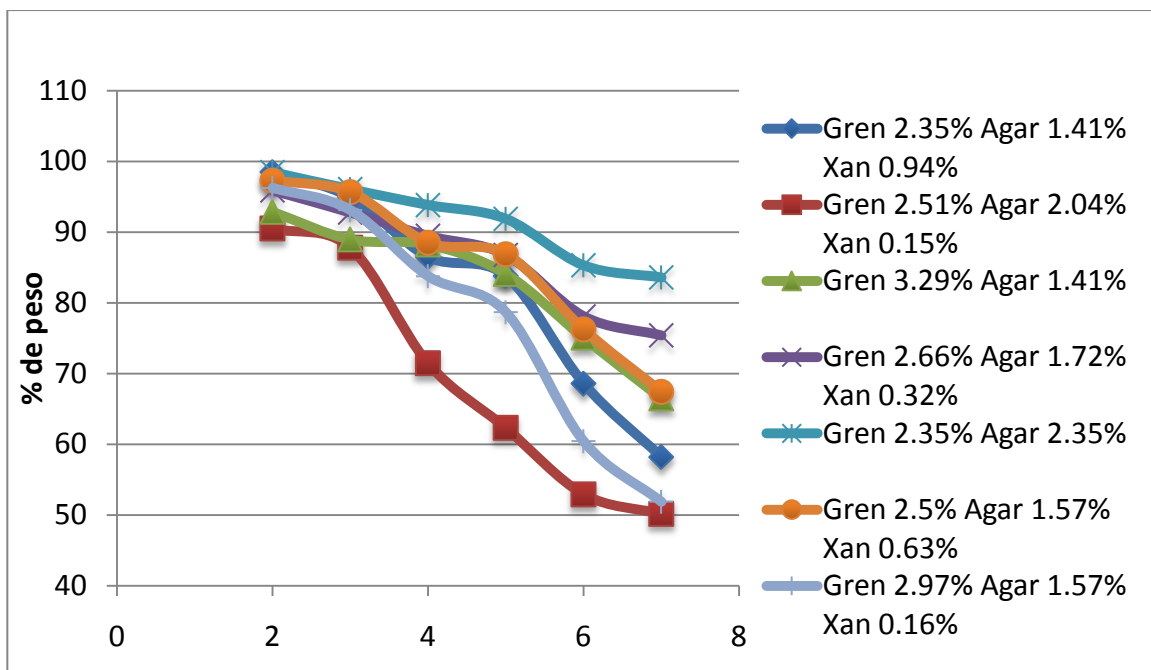


Figura 39. Curva de sinéresis del espagueti de mango a T=8°C

Se puede observar en la Figura 39 que la formulación G 2.35%, A 2.35% y X 0% se mantuvo más estable a temperatura constante durante un largo periodo de tiempo. A partir del quinto día el porcentaje de peso perdido aumentó considerablemente. Dicha formulación tiene en la misma proporción grenetina y agar, lo cual corrobora que la mayor cantidad de interacciones a temperaturas bajas (8°C aprox.) se dan entre estos biopolímeros por la estructura de triple hélice, siendo que dos de las cadenas provienen de una molécula de grenetina y la tercera de una molécula de agar. Al modificar la concentración de estos biopolímeros o agregar otro al sistema la distribución del agua cambia al igual que los enlaces en el sistema, modificándose así la estabilidad. Dicha formulación obtuvo la mayor dureza y fuerza de ruptura y el segundo punto de fusión más alto, lo cual indica que la red del gel en esas concentraciones de agar y grenetina es fuerte y con entrecruzamientos que no permiten que el agua salga fácilmente.

La formulación G 2.51%, A 2.04% y X 0.15% perdió mayor porcentaje de peso en menor tiempo por lo que se considera la menos estable a temperatura constante, debido a que sus interacciones entre biopolímeros son pocas y la mayoría de los enlaces en su estructura son puentes de hidrógeno que son poco estables.

Se observa en la Figura 52 que los geles de grenetina y xantana (-19422 y -20972) ($t= 62.33$, $p= 0.05$ y $t= 59.33$, $p= 0.032$) son más estables, que los que contienen agar (510 y 91), esto se debe a que la xantana atrapa el agua que no está ligada a los gelificantes evitando su migración, obteniendo geles más estables a baja temperatura (8°C).

3.9 Prueba hedónica de cada formulación

Para la obtención de los datos a analizar se transformaron los cinco niveles de la escala hedónica en números, obteniendo las gráficas de cada uno de los parámetros evaluados en las pruebas de aceptabilidad referidas a parámetros de sabor, color y textura.

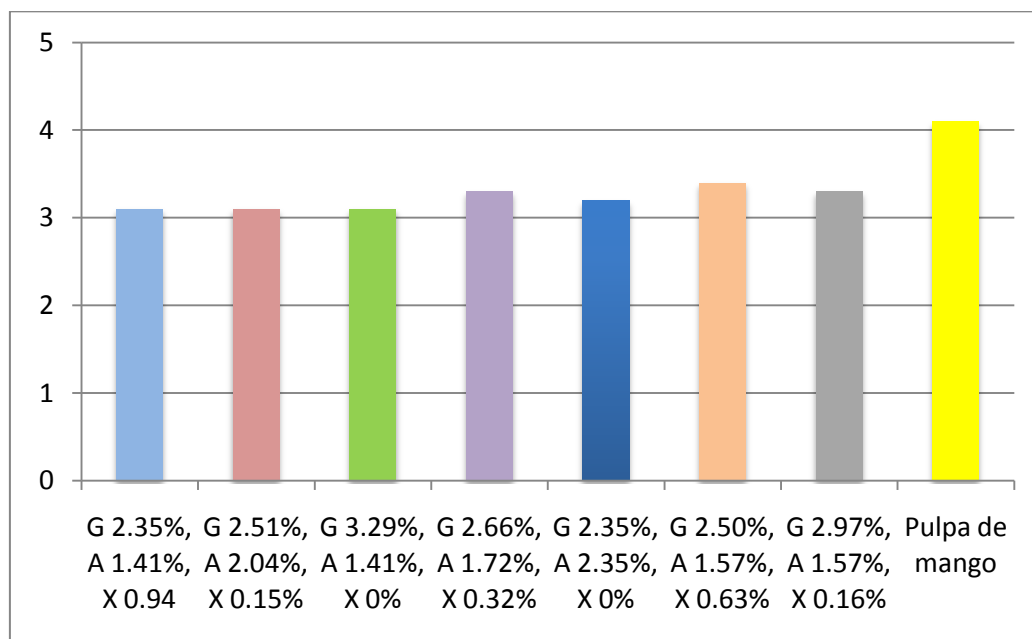


Figura 40. Grafica de dulzor del espagueti de mango percibida por los jueces.

En la Figura 40 se muestran las medias de los datos obtenidos de dulzura, que se encuentran dentro del rango de me gusta para todas las formulaciones, los datos fueron procesados mediante el software MINITAB 14 con un ANOVA con $P=0.05$; debido a que todas contenían la misma cantidad de azúcar y desde su formulación se pretendía obtener una dulzura alta y del gusto del consumidor.

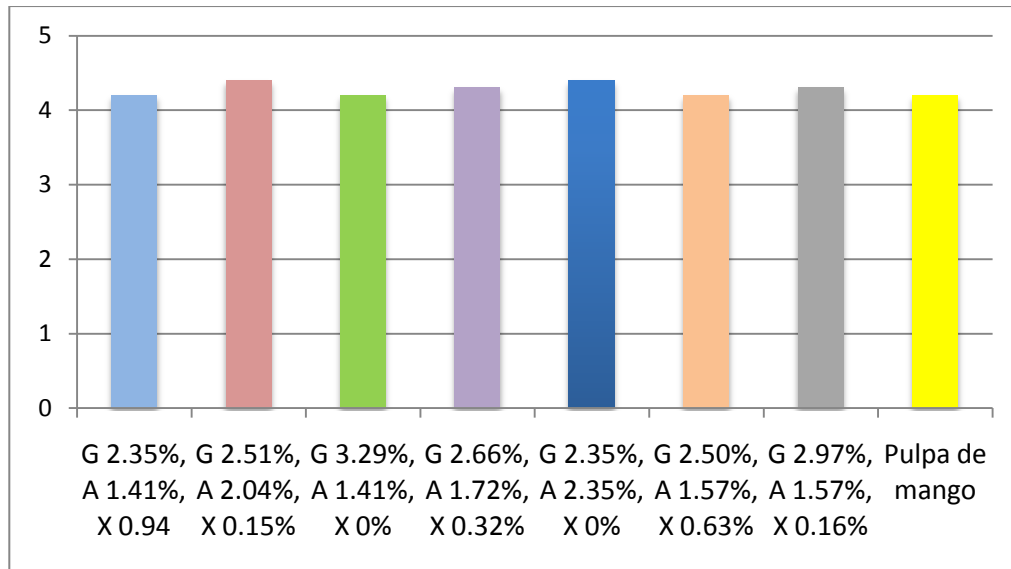


Figura 41. Grafica de Acidez del Espagueti de mango percibida por los jueces.

En la Figura 41 se muestran los resultados referentes a la acidez, a los panelistas les gustó mucho la acidez de la pulpa y de las formulaciones, y no hubo formulación que no agradara. Los datos fueron analizados con el software MINITAB 14 con un ANOVA con $P=0.05$, todas las formulaciones presentan un sabor ácido casi imperceptible o bajo, agradable para los panelistas.

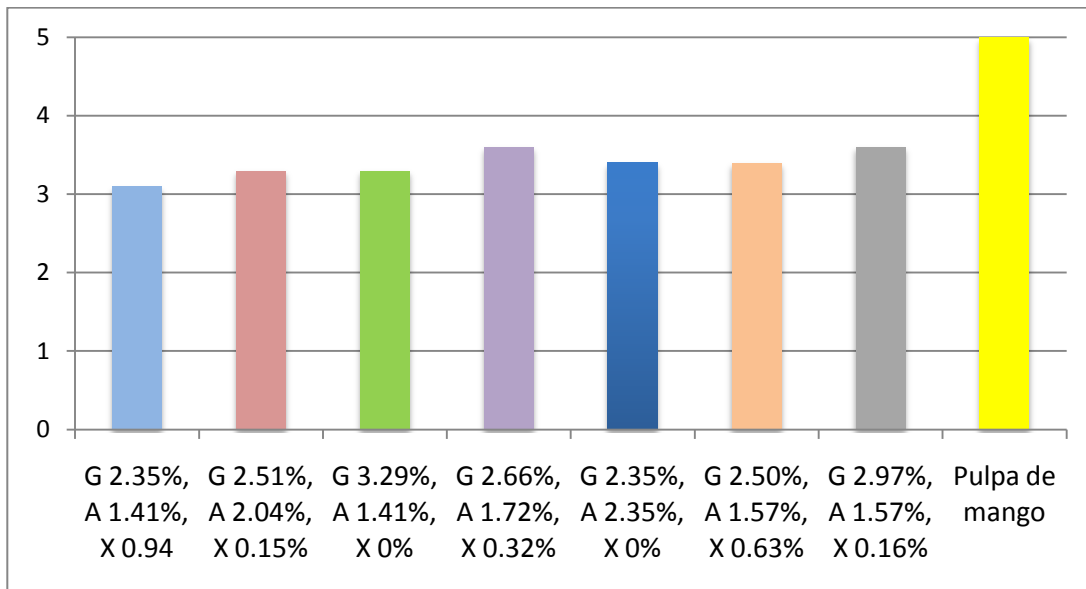


Figura 42. Grafica del sabor a mango percibido por los jueces.

Como se puede ver en la grafica anterior, en cuanto al sabor a mango del espagueti, todas las formulaciones se encuentran dentro del nivel de “me gusta”, siendo los datos analizados con un ANOVA con $P=0.05$, lo cual se considera aceptable, sin embargo, dado que la pulpa fue evaluada con “me gusta mucho” por los panelistas, la sugerencia sería el aumento de la concentración de pulpa de mango en el sistema o la adición de un saborizante.

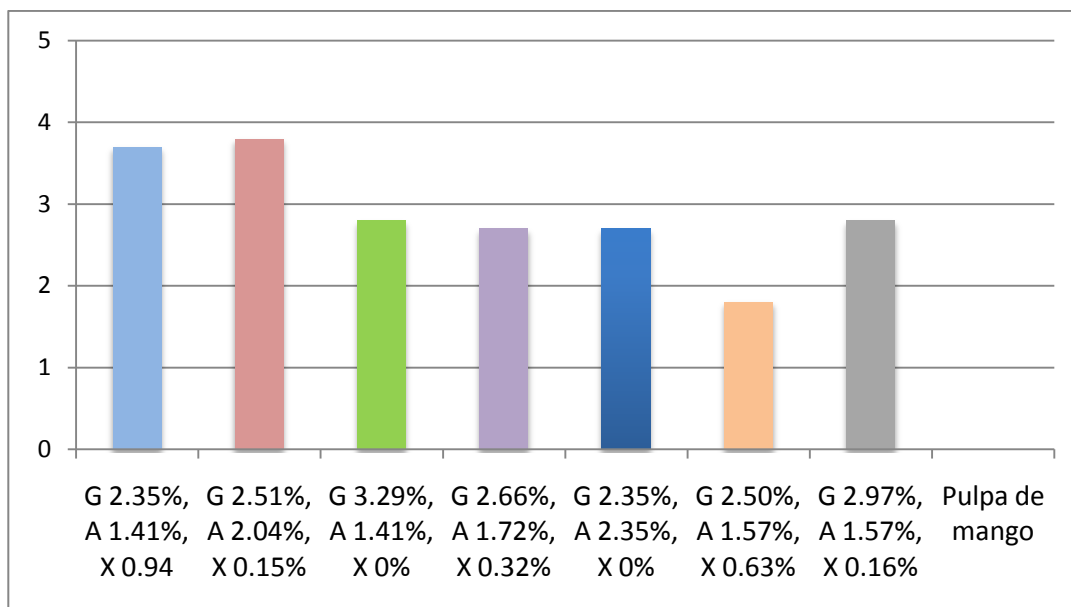


Figura 43. Grafica de dureza del espagueti percibida por los jueces.

Los datos fueron analizados con el software MINITAB 14, realizando un ANOVA con $P=0.05$, el cual nos indicó que dentro de las formulaciones existe un amplia diferencia en cuanto a la aceptabilidad de la dureza. Se observa claramente la formulación G 2.35%, A 1.41%, X 0.94% y G 2.51%, A 2.04%, X 0.15% son evaluadas con “me gusta”, por su mayor dureza, lo cual es adecuado para que se pueda comer, si el espagueti es muy suave tiende a romperse o deshacerse al tomarlo. Las formulaciones G 3.29%, A 1.41%, X 0%; G 2.66%, A 1.72%, X 0.32% y G 2.97%, A 1.57%, X 0.16% fueron evaluadas con no me gusta ni me disgusta y la formulación G 2.5% A 1.57%, X 0.63% presentó una dureza desagradable para los panelistas, ya que tenía una dureza baja que dificultaba su manipulación. El valor para la pulpa de mango no se incluyó ya que la pulpa no es un gel y no es el producto final.

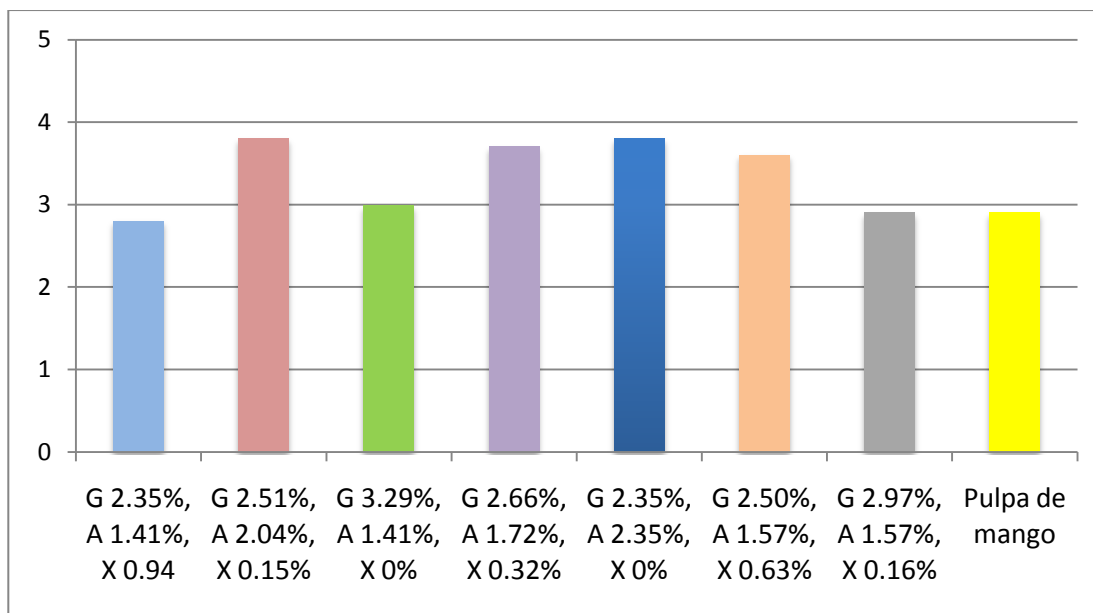


Figura 44. Grafica de Brillo percibido por los jueces.

Los datos fueron analizados con el software MINITAB 14, realizando un ANOVA con $P=0.05$, el cual nos indicó que dentro de las formulaciones existe una amplia diferencia en cuanto a la aceptabilidad del brillo. Éste es un factor importante puesto que es atractivo al consumidor, un gel opaco en este caso no es deseable. Al evaluar dicho parámetro en los espaguetis dio como resultado que la formulación G 2.51%, A 2.04%, X 0.15%; G 2.66%, A 1.72%, X 0.32%; G 2.35%, A 2.35%, X 0%; y G 2.5%, 1.57%, X 0.16% fueron aceptados por los panelistas debido a que tenían un alto brillo y la formulación G 2.35%, A 1.41%, X 0.94%; G 3.29%, A 1.41%, X 0%; y G 2.97%, A 1.57%, X 0.16%, al presentar un brillo medio, fueron evaluados como no me gusta ni me disgusta por los panelistas, al igual que el brillo de la pulpa.

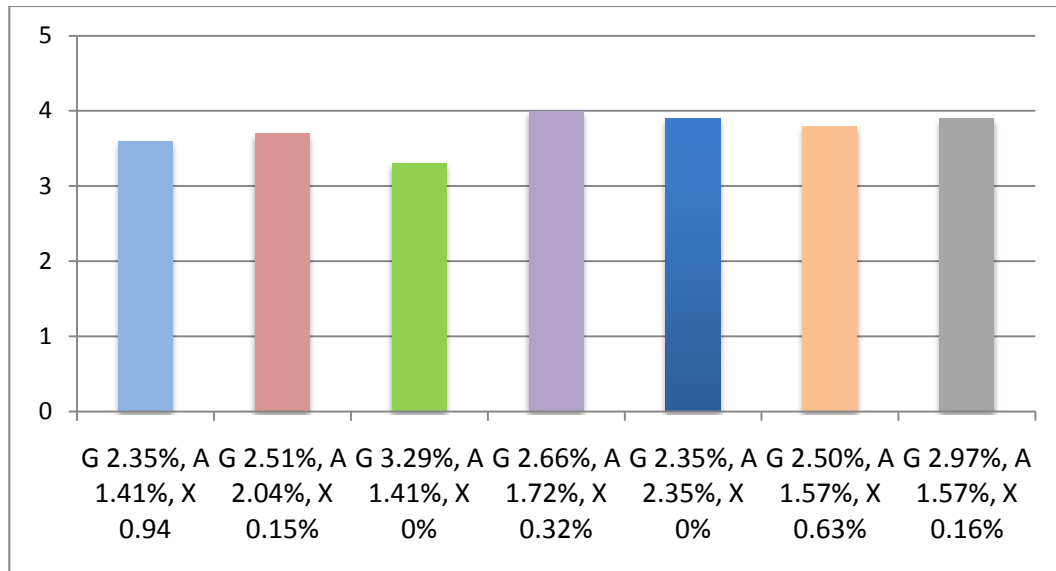


Figura 45. Grafica de Color Amarillo (respecto a la pulpa) percibido por los jueces.

Otro parámetro importante es el color de los geles, en la Figura 45 se presentan los resultados de este parámetro, los datos fueron analizados con el software MINITAB 14 con un ANOVA con $P=0.05$, donde se determinó que todas las formulaciones fueron evaluadas por los panelistas con “me gusta”. Lo anterior resulta aceptable para el producto puesto que su apariencia es natural, es decir los consumidores representados en la prueba por los panelistas lo asocian con la pulpa de mango natural.

CONCLUSIONES

La formulación con 2.35% de agar, 2.35% de gretina y 0% de xantana, fue la formulación con mayor fuerza de ruptura, dureza y estabilidad a temperatura constante; la segunda con mayor punto de fusión y menor sinéresis a temperaturas de 30 y 40°C. Por lo que esta formulación es la de mayor estabilidad y mejores características de textura para su manipulación, esto se debe al sinergismo entre agar y gretina en concentraciones iguales, al crear una estructura de triple hélice formada por dos cadenas de gretina y una de agar, es decir, interacciones intermoleculares de naturaleza física, mediante la asociación cooperativa entre cadenas de polímeros diferentes, formando zonas mixtas de unión análogas a las zonas de unión presentes en los geles mono-componentes; o mediante asociaciones cadena-cadena debido a la atracción entre cargas opuestas, como es el caso del agar teniendo grupos sulfatados (negativos) y la gretina con grupos amino (positivos) al encontrarse en un medio ácido, lo cual resulta en una red con fuertes interacciones que impide la migración del agua.

La formulación con 2.66% de gretina, 1.72% de agar y 0.32% de xantana obtuvo el mayor punto de fusión y la menor pérdida de agua a 30 y 40°C, además de ser la segunda formulación con menor sinéresis a temperatura constante (8°C), lo anterior se debe a que las redes del gel captan mayor cantidad de agua gracias a la presencia de la goma xantana, ya que la agarosa se ordena con la hélice de la xantana y a su vez el agar forma una triple hélice con la gretina, es decir, en dichas concentraciones de biopolímeros la goma xantana cumple con la funcionalidad de atrapar el agua y reducir la sinéresis del gel.

Al analizar el color, las concentraciones evaluadas de los biopolímeros dentro del sistema no afectan de forma significativa el índice de color, este índice se ve afectado principalmente por el tamaño de fibra, el tiempo de almacenamiento (oxidación de carotenos) y condiciones de proceso (T), se obtuvo un índice de color homogéneo al mantener las mismas condiciones de proceso y tiempo de almacenamiento. Al incrementar el tiempo de cizallamiento se incorpora más aire y

se reduce el tamaño de las fibras de mango, estos dos factores provocan el aumento del índice de color.

En cuanto a la aceptabilidad del producto, la evaluación realizada indica que el producto es aceptado en todos los parámetros evaluados, lo cual es fundamental para el lanzamiento de un producto. Las características fisicoquímicas, sensoriales y texturales de un producto determinan sus aplicaciones, empaque y almacenamiento. En el caso de este gel de mango en forma de espagueti puede ser almacenado a temperatura ambiente y ser utilizado como decoración de pasteles, topping de helado, acompañamiento de ensaladas o como golosina.

BIBLIOGRAFIA

- Alfaro, A. T., Costa, C. S., Kuhn, C. R., & Prentice, C. (2005). Proceso para obtención de gelatina a partir de huesos de pescadilla (*Macrodon ancylodon*) sometidos a tratamiento ácido preliminar. *Alimentaria Revista de tecnología e higiene de los alimentos* , 74-80.
- Andazaldúa, M. A. (1994). *La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica*. Zaragoza, España: Acribia.
- Antolín, G., & Oliva, D. (2003). Caracterización de bagazo de caña de azúcar mediante análisis térmico. *Información tecnológica* , Vol. 2, 91-96.
- Antoniou, K. D., Petridis, D., Raphaelis, S., Omar, Z. B., & Esteloot, R. (2000). Texture assessment of French Cheeses. *Journal of Food Science* , 168-172.
- Anzaldúa-Morales, A. (1994). *La Evaluación Sensorial de los Alimentos en la Teoría y la Práctica*. Zaragoza, España: Acribia.
- Arboledas Brihuega, D. (2000). *Jerarquía estructural de las proteínas*. España: Editorial Club Universitario.
- Badui, S. D. (2006). *Química de los Alimentos*. México: Pearson Educación.
- Barda, N. (2005). Análisis Sensorial de los Alimentos. (M. J. Calí, Entrevistador)
- Billmeyer, F., & Saltzman, M. (1981). *Principles of Color Technology* . USA: John Wiler and Sons.
- Brown, G. A., & Dominguez, B. A. (1998). *Reseña Analítica sobre potencialidades de la calorimetría diferencial de barrido*. ICIDCA: Departamento de Química Analítica.
- Brown, M. E. (1988). *Introduction to Thermal Analysis*. Cambridge: Chapman and Hall.
- Busnel, J. P., Clegg, S. M., & Morris, E. R. (1988). Melting behavior of gelatin gels: Origin and control. *Gums and stabilisers for the food industry*, 4 , 105-115.
- Capilla, P., Artigas, J. M., & Pujol, J. (2002). *Fundamentos de colorimetría*. Valencia, España: Publicaciones de la universidad de Valencia.
- Casas, A. N., & Ramírez, M. E. (1998). *Medición de textura en alimentos con máquina universal de deformación (texturómetro)*. Sección LEM: FESC, Campo 1.

- Casas, A. N., & Ramírez, M. E. (1999). *Medición de textura en alimentos con máquina universal de deformación (texturómetro)*. Sección LEM: FESC, Campo 1.
- Charsley, E. L., & Warrington, S. B. (1992). *Thermal analysis-Techniques and Applications*. The Royal Society of Chemistry.
- Clark, A. H., & Ross-Murphy, S. B. (1987). *Advances in polymer science. Biopolymers Group. Division of life science*.
- Conesa, F. J. (2000). *Curso básico de análisis térmico*. España: Editorial Club Universitario.
- Cordova, R. (1976). *Manual de métodos de análisis de leche y lácteos*. México: Berna.
- Costell, E. (1994). *Evaluación sensorial de la textura de los alimentos*. Valencia, España: Rubes Editorial.
- Deriu, A., Cavatorta, E., Cola, D. D., & Middendorf, H. (1993). Large scale structure and dynamics of polysaccharide gels, V. 3. *JOURNAL DE PHYSIQUE IV* , 237-247.
- Division of MUPA, I. (2007). *University Sains Malaysia*. Penang, Malaysia: School of Chemical Science.
- Dominguez, M. R. (2007). *Guía para la Evaluación Sensorial*. Lima: Instituto de Investigación Nutricional – IIN.
- Fennema, O. R. (1993). *Química de los alimentos*. Zaragoza, España: Acribia, 2ª.
- Fresno, M. J., Ramirez, A., & Jimenez, M. M. (2007). *Estudio reológico e interacción de geles binarios de carbopol ultrez10 y ácido hialurónico: índice de sinergia viscosa*. Madrid España: Depto de farmacia y tecnología farmaceutica, facultad de farmacia, Universidad de Alcalá.
- Fungi, D., & Matthews, R. (1991). *Instrumental Methods for Quality and Assurance in Food*. USA: Quality Process AS QC.
- García-Ochoa, F., Santos, V. E., Casas, E., & Gomez, E. (2000). Xanthan gum: production, recovery, and properties. *Biotechnology Advances*, 18 , 549-579.
- Glicksman, M. (1982). *Gum Technology in the Food Industry*. California: Academic Press Inc.
- Hamilton Simpson, E. (1995). *Refractometría y polarimetría*.

- Harrington, J. C., & Morris, E. R. (2009). Conformational orderin and gelation of gelatin in mixtures with soluble polysaccharides. *Food hidrocolloids* , 327-336.
- Hatakeyama, T., & Quinn, F. X. (2000). *Thermal Analysis, fundamentals and applications to polymer science*. John Wiley & Sons.
- Höhne, G. H., & Flammersheim, H. J. (1996). *Differential Scanning Calorimetry*. Springer-Verlag.
- Holzwarth, G. (1976). Conformation of extracellular polysaccharide of *Xanthomonas campestris*. *Biochemistry*, 15 , 4333-4339.
- Imeson, A. (1999). *TICKENING AND AGENTS FOR FOOD*. E.U.A.: Aspen Publication.
- Joly-Duhamel, C., Hellio, D., Aidari, A., & Diabourov, M. (2002). All gelatin networks: 2. The master curve for elasticity. *Langmuir*, 18 , 7158-7166.
- Kanasawud, P., & Crouzet, J. C. (1990). Mechanism of formation of volatile compounds by thermal degradation of carotenoids in aqueous medium 1. beta carotene degradation. *Journal of agricultural and food chemistry* , 237-243.
- Labropoulos, K. C., Niesz, D. E., Danforth, S. C., & Kevrekidis, P. G. (2002). Dynamic rheology of agar gels theory and experiments part I development of a rheological model. *Carbohydrate Polymers*, 50 , 393-406.
- Ledward, D. A. (2000). Protein Polysaccharide Interactions. *University of Reading*, 225-231.
- Lewis, M. J. (1993). *Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado*. España: Acribia.
- Massachusets Institute of Technology . (1959). *Handbook of Colorimetry*. USA: Technology Press.
- McKena. (2003). *Texture in food. Vol. 1*. Cambridge, England: Woodhead Publishing .
- Molina, R. M. (1992). Tesis Doctoral. *Estudio de la Estabilidad Térmica del ácido algínico y sus derivados en diversas atmósferas* . Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.
- Morreiras Olga, C. Á. (2006). *Tablas de composición de alimentos*. España: Ediciones Pirámide.

- Mullaer, G., Anhourrache, M., Lecoutier, J., & Chauveteau, G. (1986). Salt dependence of the conformation of a single stranded xanthan. *International Journal of Biological Macromolecules*, 8 , 167-172.
- Narres, L., & Shailaja, U. M. (2010). Mezcla de estabilizantes y su importancia en la industria. *New Zeland food magazine* , 14-18.
- Novelo, A. (2006). Mango Ataulfo, fruto del Soconusco. *Revista INN Magazine* , 77.
- Ockerman, H. W., & Hansen, C. L. (2000). *Animal by-product processing and utilization*. technomic Publishing.
- Pavia, M., Trujillo, A., Guamis, B., & Ferragut, V. (1999). Evolución de la composición y textura de un queso de oveja en la maduración. *Alimentaria*. 306 , 43-47.
- Penna, E. W. (2001). *Evaluación Sensorial, Una metodología actual para la tecnología de alimentos*.
- Peryamm, & Pilgrim. (1957).
- Phillips, G. O., & Williams, P. A. (2000). *Handbook of hydrocolloids G. O. Philips, P. A. Williams*. USA: Woodhead publishing.
- Piero D. Rojas Chavez, M. C. (2005). Determinacion de las propiedades fisicas en zumos y néctares empleando un programa en visual basic. *Universidad Nacional del santa Facultad de ing. EAP de ing. agroindustrial* .
- Raemy, A. (2003). Behavior of foods studied by thermal analysis. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, No.71 , 273-278.
- Ribeiro, K. R. (2004). Mechanical Properties of Acid Sodium Caseinate - k-Carrageenan Gels: Effect of Co-Solute Addition. *Food Hydrocolloids* , 71.
- Rocheffort, W. E., & Middleman, S. (1987). Rheology of xanthan gum: salt, temperature, and strain effects in oscillatory and steady shear experiments. *Journal of Rheology*, 31 (4) , 337-369.
- Roos, Y. H. (2003). Thermal analysis, state transitions, and food quality. *Journal of food Thermal Analysis and Calorimetry*, No. 71 , 197-203.
- Rosenthal, A. (2001). *Textura de los Alimentos. Medida y percepción*. España: Acribia.
- Ruiz, R. J. (2005). *Tesis Doctoral*. México.

SAGARPA-SIAP. (2007-2008). *Balanza. Comercial Agroalimentaria y pesquera*. México.

Sato, A., Yamene, H., Hirakawa, N., Otobe, K., & Yamada, M. (1997). Varietal differences in the texture of grape berries measured by penetration tests. *Vitis* , 7-10.

Schutz, & G., H. (1998). *Sources Invalidity in the Sensory Evaluation of Food*. Food Technology.

Sharma, B. R., Naresh, L., Dhuldhoya, N. C., Merchant, S. U., & Merchant, U. C. (2006). Xanthan Gum- A Boon to Food Industry. *Food Promotion Chronicle*, V. 1 , 27-30.

Sierra, A., Pérez, Q., Gómez, R., & Morante, Z. (2010).

Stainsby, G. (1977). The physical chemistry of gellatin in solution. *The science and technology of gelatin* , 109-135.

Stone, H., & Sidel, J. L. (1993). *Sensory Evaluation Practices*. United States of America : Academic Press, Inc.

Sworn, G. (2009). *Xanthan Gum*. Tadworth: Kelco Biopolymers.

Sworn, G., & Kasapis, S. (1998). Effect of conformation and molecular weight of co-solute on the mechanical properties of gellan gum gels. *Food Hydrocolloids* , 283-290.

Ward, A. G., & Courts, A. (1977). *The science and technology of gelatin*. England: London: Academic Press.

Whitney. (1977). Chemistry of colloid substances: General principles. *Food colloids* , 1-65.

Williams, P. A., Annable, P., & Phillips, G. O. (1994). Food Hydrocolloids: Structure, Properties and Functions. *Plenum Press* , 489.

www.agargel.com.br. (2010). Recuperado el 2010, de www.agargel.com.br/agar-tec-es.html

ANEXOS

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE PUNTOS DE FUSIÓN

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Grenetina	223	2.016	*	*	7017
Agar.Agar	537	4.686	*	*	16201
Xantana	-62342	76.252	*	*	283728
Grenetina*Agar.Agar	119753	13.352	255.91	0.031	40751
Grenetina*Xantana	93	149.806	151.83	0.005	293058
Agar.Agar*Xantana	-1289	243.612	-96.52	0.028	292320
Grenetina*Agar.Agar*Xantana	19452	469.711	204.95	0.031	294465

S = 0.0629437 PRESS = 0.1248

R-Sq = 99.99% R-Sq(pred) = 99.98% R-Sq(adj) = 99.99%

Análisis de varianza

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	6	589.609	589.609	98.268	24803.28	0.013
Linear	2	246.853	264.346	132.173	33360.94	0.060
Quadratic	3	85.236	291.740	97.247	24545.46	0.051
Special Cubic	1	257.520	257.520	257.520	64999.11	0.023
Residual Error	14	0.055	0.055	0.004		
Total	20	589.665				

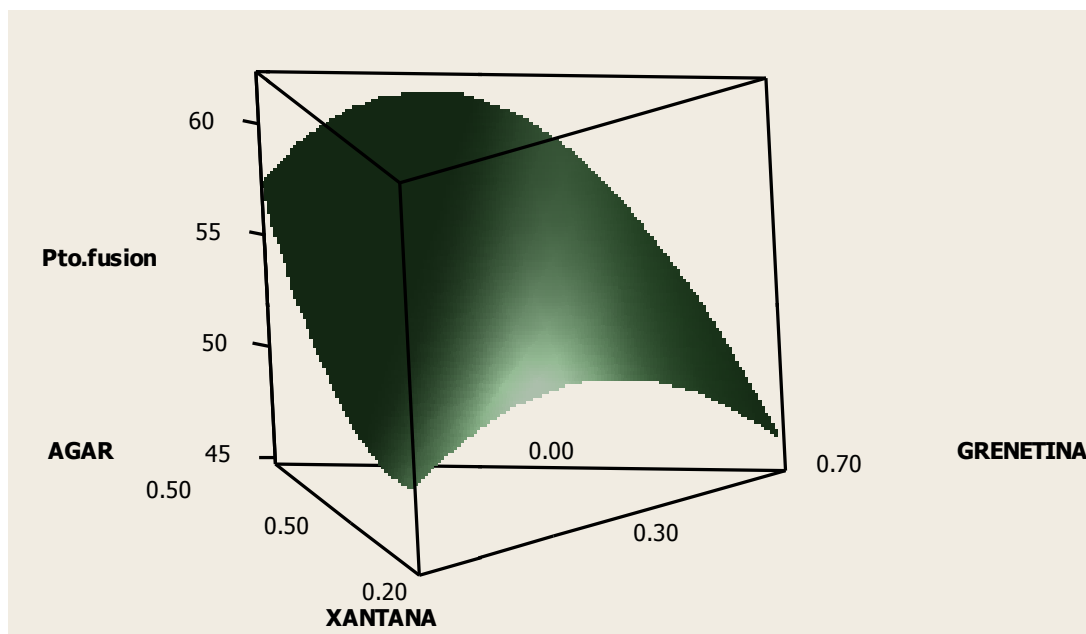


Figura 46. Gráfica de superficie del punto de fusión

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE FUERZA DE RUPTURA

Term	Coef	SE	Coef	T	P	VIF
Grenetina	15232	1360	*	*	*	7017
Agar.Agar	24151	3161	*	*	*	16201
Xantana	-1814	51436	*	*	*	283728
Grenetina*Agar.Agar	102891	9007	0.32	0.063		40751
Grenetina*Xantana	-37667	101052	-0.37	0.015		293058
Agar.Agar*Xantana	-64639	164330	-0.39	0.050		292320
Grenetina*Agar.Agar*Xantana	5338	316846	0.59	0.091		294465

S = 2.4590 PRESS = 42.1

R-Sq = 99.98% R-Sq(pred) = 99.95% R-Sq(adj) = 99.96%

Análisis de varianza

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	6	24225.3	24225.3	4037.55	2.24	0.100
Linear	2	13599.4	2793.8	1396.90	0.77	0.080
Quadratic	3	10435.9	2523.0	840.99	0.47	0.010
Special Cubic	1	190.1	190.1	190.11	0.11	0.050
Residual Error	14	25238.7	25238.7	1802.77		
Total	20	49464.0				

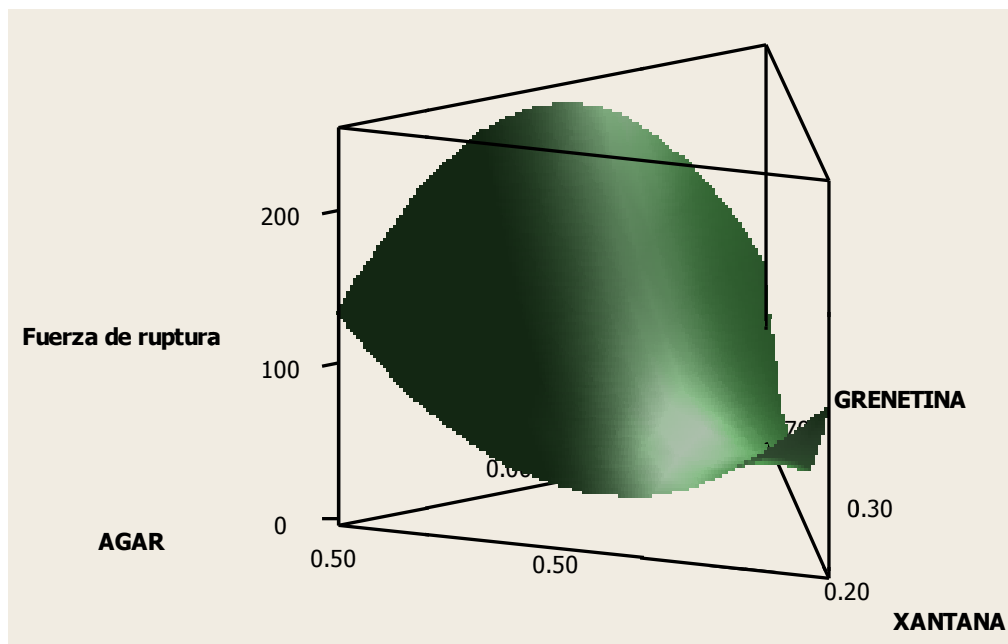


Figura 47. Gráfica de superficie de la fuerza de ruptura.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DUREZA

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Grenetina	22511	33.21	*	*	7017
Agar.Agar	129645	77.22	*	*	16201
Xantana	-83069	1256.53	*	*	283728
Grenetina*Agar.Agar	1469	220.03	-15.01	0.052	40751
Grenetina*Xantana	-9932	2468.61	-20.69	0.080	293058
Agar.Agar*Xantana	-37066	4014.42	-45.14	0.071	292320
Grenetina*Agar.Agar*Xantana	4142	7740.25	16.75	0.060	294465

S = 1.03723 PRESS = 33.8893
R-Sq = 99.98% R-Sq(pred) = 99.95% R-Sq(adj) = 99.97%

Análisis de varianza

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	6	64598.4	64598.42	10766.40	10007.32	0.090
Linear	2	32911.1	4401.65	2200.82	2045.65	0.078
Quadratic	3	31385.5	5672.32	1890.77	1757.47	0.060
Special Cubic	1	301.8	301.82	301.82	280.54	0.050
Residual Error	14	15.1	15.06	1.08		
Total	20	64613.5				

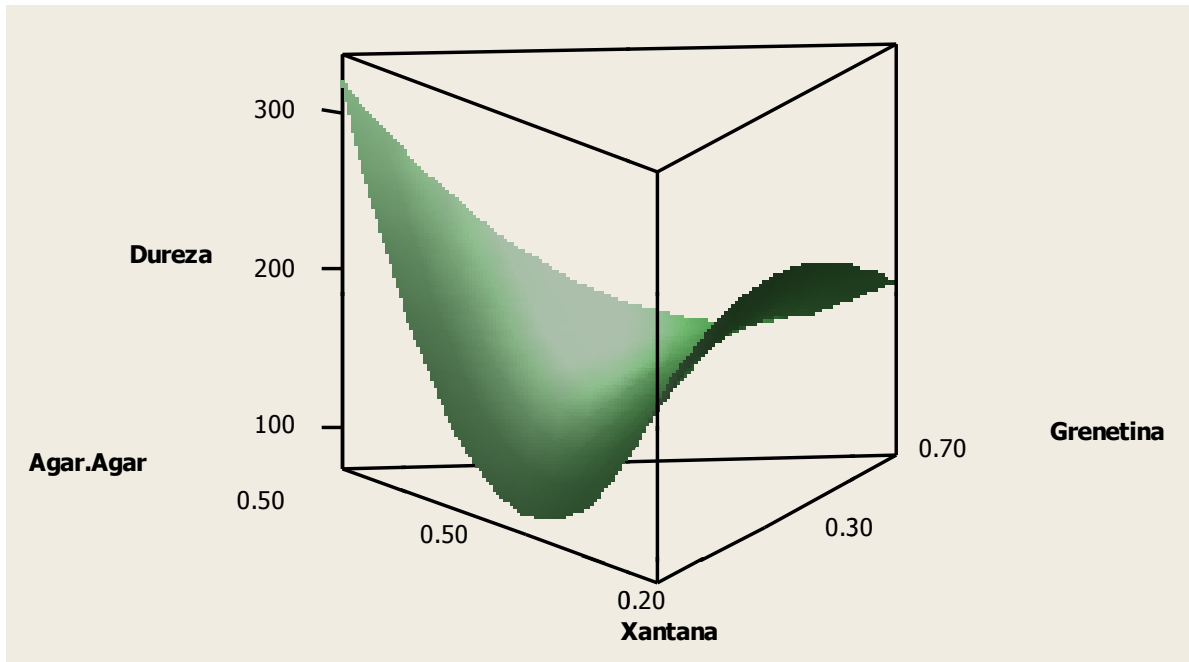


Figura 48. Gráfica de superficie de la dureza

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE ÍNDICE DE COLOR

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Grenetina	832.4	1.716	*	*	7017
Agar.Agar	832.3	3.989	*	*	16201
Xantana	832.1	64.915	*	*	283728
Grenetina*Agar.Agar	831.2	11.367	3.96	0.009	40751
Grenetina*Xantana	831.7	127.534	2.14	0.011	293058
Agar.Agar*Xantana	832.3	207.394	3.03	0.001	292320
Grenetina*Agar.Agar*Xantana	832.0	399.878	2.91	0.051	294465

S = 0.0535857 PRESS = 0.09045

R-Sq = 99.96% R-Sq(pred) = 99.90% R-Sq(adj) = 99.94%

Análisis de varianza

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	6	93.4533	93.4533	15.5755	5424.32	0.004
Linear	2	15.5824	44.0757	22.0378	7674.87	0.003
Quadratic	3	77.8578	74.8311	24.9437	8686.86	0.001
Special Cubic	1	0.0131	0.0131	0.0131	4.57	0.051
Residual Error	14	0.0402	0.0402	0.0029		
Total	20	93.4935				

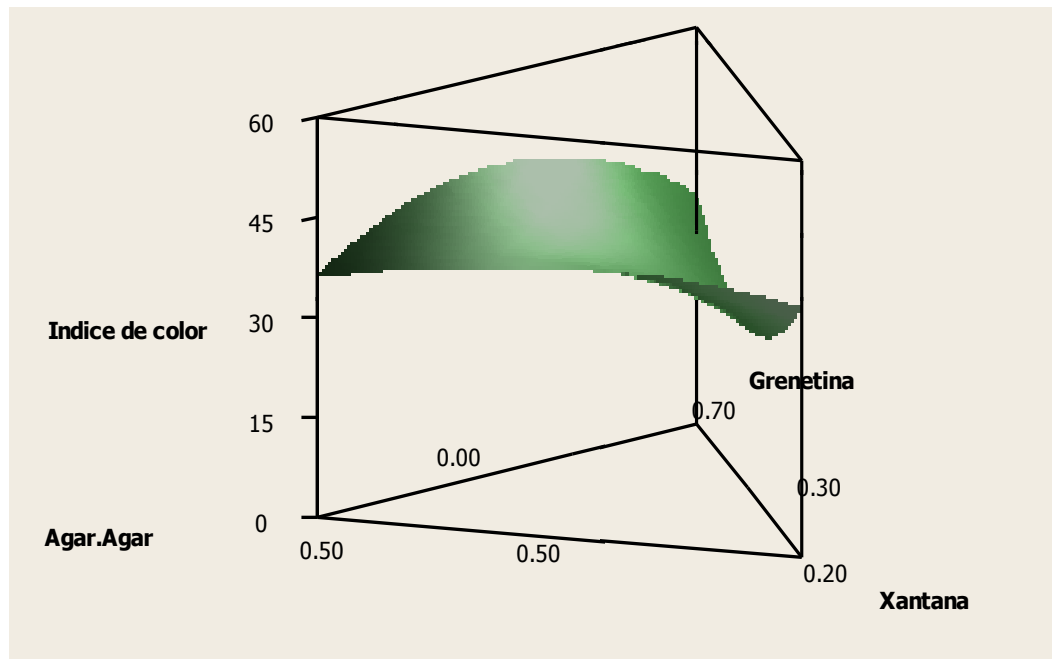


Figura 49. Gráfica de superficie del índice de color

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE SINÉRESIS A 30°C

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Grenetina	843	1.606	*	*	7017
Agar.Agar	702	3.734	*	*	16201
Xantana	656	60.755	*	*	283728
Grenetina*Agar.Agar	-213657	10.639	-570.89	0.010	40751
Grenetina*Xantana	-66803	119.361	-559.67	0.010	293058
Agar.Agar*Xantana	112020	194.103	577.12	0.010	292320
Grenetina*Agar.Agar*Xantana	-34656	374.252	-482.89	0.010	294465

S = 0.0501517 PRESS = 0.0792285
R-Sq = 100.00% R-Sq(pred) = 99.99% R-Sq(adj) = 100.00%

Análisis de varianza

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	6	1362.56	1362.56	227.093	90288.46	0.010
Linear	2	168.63	877.82	438.911	174504.22	0.011
Quadratic	3	374.18	1046.14	348.713	138642.81	0.007
Special Cubic	1	819.74	819.74	819.744	325917.12	0.003
Residual Error	14	0.04	0.04	0.003		
Total	20	1362.59				

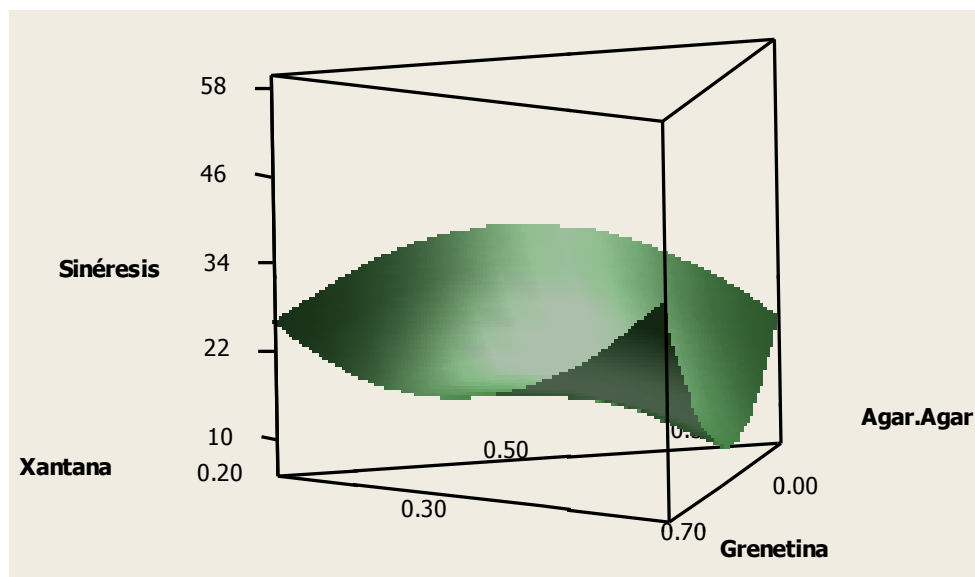


Figura 50. Grafica de superficie de sinéresis a 30°C

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE SINÉRESIS A 40°C

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Grenetina	89612	1.995	*	*	7017
Agar.Agar	51910	4.638	*	*	16201
Xantana	3201	75.469	*	*	283728
Grenetina*Agar.Agar	-174026	13.215	-374.30	0.008	40751
Grenetina*Xantana	-422	148.267	-350.11	0.007	293058
Agar.Agar*Xantana	3312	241.110	371.66	0.005	292320
Grenetina*Agar.Agar*Xantana	-26109	464.888	-181.34	0.006	294465

S = 0.0622973 PRESS = 0.12225
R-Sq = 100.00% R-Sq(pred) = 100.00% R-Sq(adj) = 100.00%

Análisis de varianza

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	6	3521.25	3131.249	521.875	134470.81	0.003
Linear	2	1288.37	491.782	245.891	63358.37	0.002
Quadratic	3	1299.03	710.695	236.898	61041.25	0.005
Special Cubic	1	543.84	543.841	543.841	140130.76	0.004
Residual Error	14	0.05	0.054	0.004		
Total	20	3521.25				

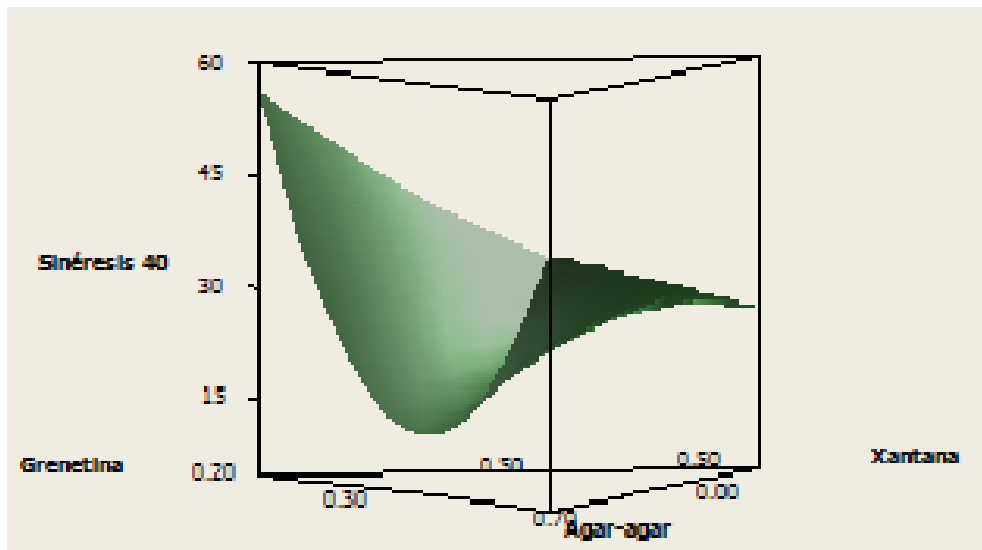


Figura 51. Grafica de superficie de sinéresis a 40°C

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE SINÉRESIS A TEMPERATURA CONSTANTE (8°C) DÍA 1

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Grenetina	1271	2.765	*	*	923
Agar.Agar	510	2.981	*	*	6203
Xantana	101	89.664	*	*	83618
Grenetina*Agar.Agar	71021	14.2	62.33	0.050	750
Grenetina*Xantana	-19422	12.16	-58.32	0.009	93051
Agar.Agar*Xantana	23312	9.78	30.42	0.041	92320
Grenetina*Agar.Agar*Xantana	6109	26.12	25.1	0.029	94462

S = 0.91 PRESS = 5.56
R-Sq = 90.00% R-Sq(pred) = 89.50% R-Sq(adj) = 90.00%

Análisis de varianza

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	6	3131.25	2334.127	121.075	3440.11	0.351
Linear	2	1288.37	433.776	345.691	31358.09	0.211

Quadratic	3	1299.03	330.691	236.998	42041.50	0.298
Special Cubic	1	543.84	143.871	443.141	11820.21	0.387
Residual Error	14	0.05	0.054	0.003		
Total	20	3131.25				

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE SINÉRESIS A TEMPERATURA CONSTANTE (8°C) DÍA 7

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
Grenetina	293	3.770	*	*	409
Agar.Agar	91	3.901	*	*	5998
Xantana	83	90.776	*	*	86654
Grenetina*Agar.Agar	5723	40.33	59.33	0.032	543
Grenetina*Xantana	-20972	19.04	-88.32	0.041	76654
Agar.Agar*Xantana	3356	8.77	14.42	0.031	79359
Grenetina*Agar.Agar*Xantana	4109	24.09	21.1	0.005	79261

S = 0.952 PRESS = 5.72
R-Sq = 90.00% R-Sq(pred) = 89.60% R-Sq(adj) = 90.00%

Análisis de varianza

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	6	2111.25	2334.127	121.075	3440.11	0.351
Linear	2	2288.01	433.776	345.691	31358.09	0.211
Quadratic	3	2190.00	330.691	236.998	42041.50	0.298
Special Cubic	1	432.80	143.871	443.141	11820.21	0.387
Residual Error	14	0.05	0.054	0.003		
Total	20	2111.25				

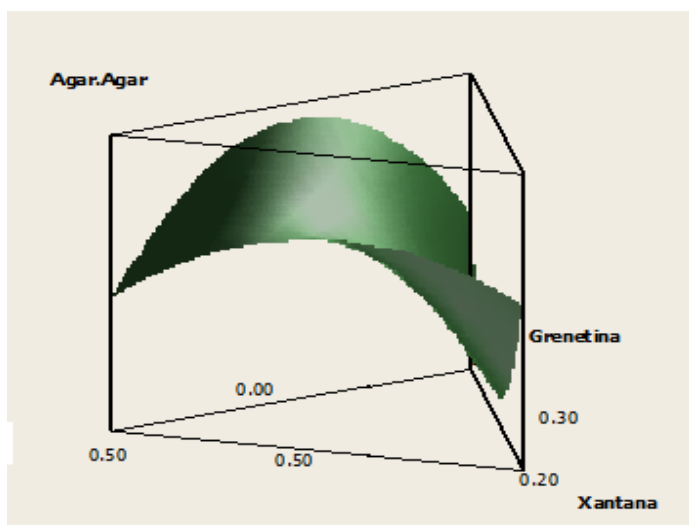


Figura 52. Gráfica de superficie del porcentaje de peso perdido en el séptimo día