



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES

CUAUTITLÁN

**DESARROLLO DE UNA SALSA PICANTE DE PARTÍCULAS FINAS
EMPLEANDO GOMA XANTANA Y CARBOXIMETILCELULOSA:
EFECTO DE LA TEMPERATURA EN LAS PROPIEDADES DE FLUJO
Y ESTABILIDAD**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERA EN ALIMENTOS**

**PRESENTA:
GUZMÁN PÉREZ ANA VICTORIA**

**ASESORES:
I.B.Q. NORMA BEATRIZ CASAS ALENCASTER
I.A. ALFREDO ÁLVAREZ CÁRDENAS**

CUAUTITLÁN IZCALI, EDO. DE MEX.

2012



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
 UNIDAD DE ADMINISTRACION ESCOLAR
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DRA. SUEMI RODRIGUEZ ROMO
 DIRECTORA DE LA FES CUAUTITLAN
 PRESENTE

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

Con base en el Art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la Tesis:

Desarrollo de una salsa picante de partículas finas empleando goma xantana
y carboximetilcelulosa: efecto de la temperatura en las propiedades de flujo
y estabilidad

Que presenta la pasante Ana Victoria Guzmán Pérez

Con número de cuenta: 302768826 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 ESPIRITU"
 Cuautitlan Izcalii, Mex. a 12 de mayo de 2011

PRESIDENTE I.B.Q. Norma Beatriz Casas Alencaster

VOCAL I.A. Francisco Javier López Martínez

SECRETARIO Dra. Ma. Eugenia Ramírez Ortiz

1er SUPLENTE M.C. Virginia Agustina Delgado Reyes

2º SUPLENTE I.A. Maritza Rocandio Pineda

Araceli Herrera Hernández

[Firma]

[Firma]

Virginia Delgado Reyes

Maritza R.

Dedico este trabajo a:

Mis padres por ser ejemplo y guía, por su amor, enseñanza y todo lo bueno que no cabe en estas líneas.

A mis hermanas Lulú, Tania, Noemí y Carla por ser mis confidentes y por los momentos divertidos.

A mi esposo Tovarisch, por formar parte de mí desarrollo profesional, por darme ánimos y regalarme sueños. Te amo.

A mi familia por ser el mejor núcleo en que pude desenvolverme y hallarme.

Norma Casas: gracias por su asesoría y apoyo siempre que lo requerí, pero sobre todo por su paciencia

ÍNDICE GENERAL

	Página
Resumen	1
Introducción	3
1. Marco Teórico	5
1.1. Salsas picantes	5
1.1.1. Definición de salsa	5
1.1.2. Clasificación de salsas picantes	5
1.1.3. Especificaciones de salsas picantes	6
1.1.4. Proceso de elaboración de una salsa picante a base de chiles secos	7
1.2. Sistemas dispersos	8
1.2.1. Suspensiones	10
1.2.1.1. Suspensiones homogéneas	10
1.2.1.2. Estabilidad de suspensiones	10
1.3. Reología de suspensiones	12
1.3.1. Tipos de comportamiento reológico en suspensiones	13
1.3.2. Métodos de medición del comportamiento al flujo	16
1.4. Gomas	19
1.4.1. Xantana	20
1.4.2. Carboximetilcelulosa	21
1.4.3. Aplicaciones de polisacáridos en salsas	24
2. Metodología de investigación experimental	25
2.1. Objetivo general	25
2.2. Objetivos particulares	25
2.3. Desarrollo metodológico	26
2.3.1. Materiales	26
2.3.2. Actividades Preeliminarias	26
2.3.2.1. Ensayo de técnicas con salsas comerciales	26
2.4. Métodos	27
2.4.1. Selección de la formulación a emplear	27

2.4.2. Análisis granulométrico de los chiles en polvo (chile de árbol y chile piquín)	27
2.4.3. Preparación de la salsa picante tipo botanera con goma xantana y carboximetilcelulosa	28
2.4.4. Almacenamiento de la salsa picante tipo botanera con goma a diferentes temperaturas	28
2.4.5. Métodos de evaluación	29
3. Discusión de resultados	34
3.1. Análisis granulométrico de los chiles en polvo (chile de árbol y chile piquín)	34
3.2. Selección de la formulación a emplear	36
3.3. Ensayo de técnicas con salsas comerciales	37
3.4. Adición de goma a la formulación base	40
3.5. Evaluación de la influencia de la temperatura, tiempo y concentración de xantana sobre los parámetros reológicos, físicos y estabilidad	50
Conclusiones	71
Bibliografía	73
Anexos	

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Diagrama de bloques del proceso de elaboración de una salsa picante a base de chiles secos	7
Figura 2. Clasificación de los sistemas dispersos de acuerdo a Ostwald	9
Figura 3. Clasificación para fluidos independientes del tiempo	15
Figura 4. Representación esquemática de un viscosímetro de cilindros concéntricos	18
Figura 5. Unidad estructural de la goma xantana	20
Figura 6. Unidad estructural de la CMC	22
Figura 7. Diagrama de colores en el espacio CIELAB	30
Figura 8. Curva fuerza-tiempo de textura	32
Figura 9. Diagrama diferencial (a) y diagrama acumulativo (b) de tamizado de una muestra de chile de árbol	35
Figura 10. Diagrama diferencial (a) y diagrama acumulativo (b) de tamizado de una muestra de chile piquín	36
Figura 11. Curva de flujo de la salsa comercial a 25°C	39
Figura 12. Intensidad de retrodispersión a diferentes tiempos, referidos a la primera medida de la salsa picante comercial Botanera a 25°C	40
Figura 13. Diagrama fuerza tiempo de la salsa comercial y la formulación base con goma xantana a diferentes concentraciones a 25°C	42
Figura 14. Curva de flujo de la formulación base con goma a 25°C	44
Figura 15. Intensidad de retrodispersión a diferentes tiempos, referidos a la primera medida de la salsa picante sin empleo de goma a 25°C	46
Figura 16. Intensidad de retrodispersión a diferentes tiempos, referidos a la primera medida de la salsa picante con 0.5% de goma CMC a 25°C	47
Figura 17. Intensidad de retrodispersión a diferentes tiempos, referidos a la primera medida de la salsa picante con 0.2% de goma xantana a 25°C	48
Figura 18. Intensidad de retrodispersión a diferentes tiempos, referidos a la primera medida de la salsa picante con 0.3% de goma xantana a 25°C	48

Figura 19. Intensidad de retrodispersión a diferentes tiempos, referidos a la primera medida de la salsa picante con 0.4% de goma xantana a 25°C	49
Figura 20. Intensidad de retrodispersión a diferentes tiempos, referidos a la primera medida de la salsa picante con 0.5% de goma xantana a 25°C	49
Figura 21. Diagrama fuerza tiempo de la salsa picante tipo botanera a las concentraciones de 0.3% y 0.5% de xantana con temperatura de 5°C	53
Figura 22. Diagrama fuerza tiempo de la salsa picante tipo botanera a las concentraciones de 0.3% y 0.5% de xantana con temperatura de 25°C	54
Figura 23. Diagrama fuerza tiempo de la salsa picante tipo botanera a las concentraciones de 0.3% y 0.5% de xantana con temperatura de 40°C	55
Figura 24. Curva de flujo de la salsa picante tipo botanera con concentración de goma xantana de 0.3% y 0.5% a 5°C	57
Figura 25. Curva de flujo de la salsa picante tipo botanera con concentración de goma xantana de 0.3% y 0.5% a 25°C	58
Figura 26. Curva de flujo de la salsa picante tipo botanera con concentración de goma xantana de 0.3% y 0.5% a 40°C	59
Figura 27. Intensidad de retrodispersión a diferentes tiempos, referidos a la primera medida de la salsa picante con 0.3% de goma xantana a 5°C	62
Figura 28. Intensidad de retrodispersión a diferentes tiempos, referidos a la primera medida de la salsa picante con 0.5% de goma xantana a 5°C	62
Figura 29. Intensidad de retrodispersión a diferentes tiempos, referidos a la primera medida de la salsa picante con 0.3% de goma xantana a 25°C	63
Figura 30. Intensidad de retrodispersión a diferentes tiempos, referidos a la primera medida de la salsa picante con 0.5% de goma xantana a 25°C	64
Figura 31. Intensidad de retrodispersión a diferentes tiempos, referidos a la primera medida de la salsa picante con 0.3% de goma xantana a 40°C	64

Figura 32. Intensidad de retrodispersión a diferentes tiempos, referidos a la primera medida de la salsa picante con 0.5% de goma xantana a 40°C	65
Figura 33. Curva de cinética de clarificado a 35 días de la salsa picante con 0.5% de goma xantana a 25°C	66
Figura 34. Curvas de cinética de: (a) sedimentació (b) clarificado a 35 días de la salsa picante con 0.3% de goma xantana a 25°C	67
Figura 35. Curvas de cinética de: (a) sedimentació (b) clarificado a 35 días de la salsa picante con 0.3% de goma xantana a 40°C	68
Figura 36. Curvas de cinética de: (a) sedimentació (b) clarificado a 35 días de la salsa picante con 0.5% de goma xantana a 40°C	69

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Especificaciones físicas y químicas de las salsas picantes	6
Cuadro 2. Formulaciones bibliográficas para elaborar salsa picante tipo botanera	27
Cuadro 3. Análisis por tamizado de una muestra de 100 g de chile de árbol	34
Cuadro 4. Análisis por tamizado de una muestra de 100 g chile piquín	34
Cuadro 5. Formulación base obtenida	37
Cuadro 6. Propiedades fisicoquímicas de la salsa comercial	37
Cuadro 7. Parámetros de prueba de textura de la salsa comercial a temperatura ambiente	38
Cuadro 8. Parámetros reológicos de las salsas comerciales	38
Cuadro 9. Propiedades fisicoquímicas de la formulación base con goma xantana a 25°C	41
Cuadro 10. Propiedades de textura de la salsa comercial y la formulación base con goma xantana a 25°C	43
Cuadro 11. Constantes reológicas del modelo de la potencia de la formulación base con goma xantana y CMC a 25°C	45
Cuadro 12. Densidad de la salsa picante tipo botanera a las concentraciones de 0.3% y 0.5% a distintas temperaturas	50
Cuadro 13. pH de la salsa picante tipo botanera a las concentraciones de 0.3% y 0.5% de xantana a distintas temperaturas y tiempos de almacenamiento	51
Cuadro 14. Comparación de variables en el color (matiz) de una salsa tipo botanera	52
Cuadro 15. Efecto de las variables de estudio (concentración, temperatura y tiempo) en los parámetros de textura de una salsa tipo botanera	56
Cuadro 16. Efecto de las variables de estudio (concentración, tiempo y temperatura) en los parámetros reológicos de una salsa tipo botanera	61

Cuadro 17. Espesor máximo de clarificado y sedimentación
en función del tiempo $E(t)$

70

RESUMEN

El objetivo del estudio fue determinar el efecto de la temperatura y la concentración de goma xantana y carboximetilcelulosa (CMC) sobre la estabilidad, textura y comportamiento reológico de una salsa picante tipo botanera; la primera etapa consistió en la selección de una fórmula base sin gomas. En la segunda etapa a la formulación base se le añadió goma a distintas concentraciones, xantana (0.2, 0.3, 0.4 y 0.5%) o carboximetilcelulosa (0.5%); en estas formulaciones se evaluó el efecto de la concentración sobre las propiedades de flujo (n , K), texturales (trabajo de penetración, dureza, fuerza adhesiva, adhesividad y estiramiento), estabilidad (transmisión y retrodispersión de luz), pH, densidad y color. Después de la adición de goma en la formulación base se observó que la salsa se desestabilizaba muy rápido con goma CMC, en cambio con goma xantana se presentaron resultados más semejantes a los productos comerciales. De los resultados obtenidos se concluyó que las salsas con 0.3 y 0.5% de goma xantana presentaron parámetros más parecidos a una salsa comercial. Por lo que ambas concentraciones fueron seleccionadas para el estudio del efecto de la temperatura y el tiempo de almacenamiento.

En la tercera etapa se estudió la salsa picante tipo botanera evaluando el efecto de la concentración de goma xantana (0.3 y 0.5%), temperatura (5, 25 y 40°C) y tiempo de almacenamiento (4 semanas). En esta etapa la densidad y el pH no presentaron cambios durante el almacenamiento y éste último se mantiene dentro de la norma NMX-F-377-1986. La concentración de goma solamente tuvo efecto en el parámetro de color de luminosidad, siendo ligeramente más luminosa la salsa con 0.5% de goma. A 40°C las salsas fueron menos luminosas y el matiz fue más alto (mayor predominio del rojo). Al incrementarse el tiempo de almacenamiento, se aumentó el matiz y la luminosidad. Con respecto a la textura, todos los parámetros, a excepción del estiramiento fueron más altos con 0.5% de xantana. A 40°C, disminuyeron la dureza, adhesividad, fuerza adhesiva y trabajo de penetración, el estiramiento fue más alto. Conforme transcurre el tiempo de almacenamiento, disminuyen los parámetros a excepción del estiramiento que no presenta una tendencia de cambio clara. Todas las salsas mostraron comportamiento adelgazante a la cizalla y dependencia al tiempo (tixotropía). Al incrementarse la concentración de xantana, aumenta el índice de consistencia y disminuye el

índice de comportamiento al flujo. Conforme aumenta la temperatura disminuye el índice de consistencia. De la primera a la tercera semana aumentó el índice de consistencia y disminuyó el índice de comportamiento, lo cual sugiere que la goma continuó hidratándose. De la cuarta a la quinta semana ocurrió el efecto contrario, lo que se atribuye a una degradación de la goma. A 5°C, las salsas fueron estables. A 25°C con 0.5% de goma, hubo clarificación en la parte superior de tubo y la sedimentación apenas iniciaba al término de la experimentación, de manera que no se pudo obtener una cinética. A 40°C en ambas concentraciones se presentaron los fenómenos de sedimentación y clarificación, obteniéndose mayores espesores de estas fases con 0.3 % de goma y a su vez mayores que a 25°C.

Con base a estos resultados se concluye que la concentración de 0.5% de goma xantana es adecuada para un producto como la salsa picante tipo botanera, mientras que la temperatura es un factor importante en el tiempo de almacenamiento por lo que se recomienda guardar productos como éste, a temperaturas de refrigeración para extender su vida de anaquel.

INTRODUCCIÓN

Una suspensión es una dispersión coloidal, en donde un sólido está disperso en una fase líquida continua (*Scharmm, 2005*). Las suspensiones sólido-líquido pueden estar presentes en muchos procesos industriales; también pueden constituir productos finales, tales como formulaciones en las que cantidades de polvos finos se mezclan en un líquido portador (*Rhodes, 1990*). Las salsas son consideradas suspensiones que contienen partículas sólidas o semisólidas, distribuidas en una fase líquida continua (*Calderón, 2002*). Para la industria alimentaria las salsas son importantes, ya que representan productos con un alto valor añadido, y que son fabricados con bastante facilidad (*Mandala y col., 2004*). Las salsas comerciales tipo mexicano tienen una alta aceptación debido a su amplia variedad y presentación en el mercado nacional (*Martínez y Rivera, 2004*). A menudo se elaboran nuevos productos mediante la mezcla de diferentes ingredientes (encurtidos, especias, trozos de vegetales, etc.) (*Mandala y col., 2004*).

El comportamiento reológico y la estabilidad de las suspensiones de partículas finas está determinado por factores como: el tamaño, forma, distribución y densidad de partícula, densidad y viscosidad del líquido, interacción partícula-partícula y partícula-líquido y la temperatura (*Calderón, 2002; Rhodes, 1990*).

El problema más común de las salsas, es la desestabilización después de su preparación y durante su almacenamiento (*Mandala y col., 2004*) debido a que contienen partículas relativamente grandes, las cuales pueden sedimentar (*Martínez y Rivera, 2004*). La sedimentación resulta de la diferencia de densidad entre la fase dispersa y continua y provoca la separación de dos fases (*Scharmm, 2005*).

Los polisacáridos son utilizados ampliamente en la preparación y el proceso de los alimentos, por ejemplo la estabilización de suspensiones (*Lapasin y Pricl, 1999*); además de contar con otra variedad de funciones, entre las que se encuentran: espesar y modificar el comportamiento al flujo, mejorar la textura, la encapsulación de sabores, crioprotección, entre otras (*Sahin y Ozdemir, 2004*). Es común el empleo de más de un polisacárido en la formulación de alimentos para mejorar la funcionalidad de los mismos e impartir características específicas de

textura, estabilidad y comportamiento al flujo, pero es fundamental considerar su compatibilidad bajo las condiciones del medio específicas en cada producto, pues puede presentarse sinergismo o antagonismo (*Sikora y col., 2007*). Las salsas forman parte de una amplia gama de fluidos alimenticios que suelen utilizar polisacáridos como xantana y carboximetilcelulosa (CMC) (*Sahin y Ozdemir, 2004*).

La xantana es soluble en agua caliente o fría, presenta alta viscosidad a bajas concentraciones y muestra excelente estabilidad en sistemas calientes y ácidos (*Sahin y Ozdemir, 2004*). El incremento progresivo de la velocidad de cizalla disminuye la viscosidad (presenta adelgazamiento a la cizalla). Este comportamiento es reversible, y la viscosidad se restaura al disminuir la velocidad de cizalla. El comportamiento reversible de adelgazamiento a la cizalla permite la estabilización de emulsiones, espumas y partículas en suspensión, además de la manipulación y control de procesos como el bombeo. Las dispersiones de xantana han dado lugar al desarrollo de una serie de formulaciones de salsas las cuales pueden ser calentadas o refrigeradas sin perder sus características texturales deseables. La CMC se utiliza generalmente debido a su reología (tixotropía y pseudoplasticidad), la interacción con el agua y sus atributos de textura (*Stephen y col., 2006*).

El propósito de esta investigación es la formulación de una salsa tipo botanero, debido a su aceptación en el mercado, analizando el efecto de la goma xantana, CMC y la mezcla de ambas en la estabilidad y las propiedades de flujo a diferentes temperaturas, intentando que la salsa no pierda sus características, ya que en el proceso de elaboración y almacenamiento existen variaciones de temperatura que pueden influenciar el comportamiento reológico y la estabilidad del producto, la caracterización de esta suspensión puede ser utilizada para el diseño de una planta procesadora enfocada a la producción de este tipo de salsa de tal manera que contribuye a la selección de diámetro de tuberías, bombas y equipos.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. Salsas picantes

Las salsas picantes comerciales tipo mexicano tienen una alta aceptación debido a su amplia variedad y presentación en el mercado nacional, además de estar ligadas al mejoramiento de la apariencia, aroma, sabor y consistencia. Sin embargo pueden presentar una gran variación en las propiedades reológicas, como consecuencia de la diversidad de sus formulaciones (*Carrillo, 1998; Martínez y Rivera, 2004*).

Los ingredientes básicos son chiles en cualquiera de sus variedades y en una proporción no menor del 1%, agua, vinagre, azúcares, sal común; entre los ingredientes opcionales está la fécula de maíz, condimentos, especias y aditivos permitidos por la Secretaría de Salud dentro de los límites que establezca (*NMX-F-377-1986*).

1.1.1. Definición de salsa

Una salsa es un producto semilíquido o líquido, frío o caliente, el cual se adiciona a un alimento cuando éste se sirve (*Carrillo, 1998*).

Definición de salsa picante envasada

Es el producto resultante de la mezcla y/o molienda y suspensión de una o más variedades de chiles frescos, secos o conservados, sanos, limpios, adicionados o no de acidulantes, espesantes, especias e ingredientes permitidos por la Secretaría de Salud, que le proporcionen el sabor característico (*NMX-F-377-1986*).

1.1.2. Clasificación de salsas picantes

Existen tres diferentes tipos de salsas picantes.

- **Estilo de Louisiana:** contiene pimienta, vinagre y agua. Ocasionalmente algo de sal, así como otros ingredientes.
- **Estilo Mexicano:** se centran principalmente en el sabor. Las salsas son picantes, pero se distinguen los sabores de los chiles empleados. Algunas de las salsas producidas en

México tienen un alto contenido en vinagre comparado con las salsas del estilo Louisiana.

- **Estilo Asiático:** contienen generalmente más ingredientes que las elaboradas al estilo de Louisiana o Mexicano. Generalmente son algo más dulces y tienen aroma de ajo u otros ingredientes. Sin embargo las salsas son las más picantes de todos los tipos.

Las salsas para su estudio en las propiedades de flujo se dividen en dos clases:

- Homogéneas, en las cuales las partículas finamente divididas, están distribuidas uniformemente en la suspensión (botanera, barbecue, tamazula).
- Heterogéneas, se caracterizan por contener partículas milimétricas de diferentes tamaños (verde, ranchera, taquera) (Martínez y Rivera, 2004).

1.1.3. Especificaciones de salsas picantes

Sensoriales

- Color: Característico de la variedad de chile o mezcla de chiles empleados.
- Olor: Característico de la variedad de chiles o mezcla de chiles empleados.
- Sabor: Picante característico de la variedad de chiles o mezcla de chiles empleados.
- Consistencia: Fluida, semifluida o viscosa (NMX-F-377-1986).

Físicas y químicas

La salsa picante envasada debe cumplir con las especificaciones físicas y químicas anotadas, en la cuadro 1 (NMX-F-377-1986).

Cuadro 1. Especificaciones físicas y químicas de las salsas picantes

Especificaciones	Mínimo	Máximo
pH	2.8	4.0
Sólidos solubles % (°Brix)	4.0	30.0
Sólidos totales %	4.0	-
% de acidez expresado como ácido acético	1.0	4.5
% de cloruros (NaCl)	-	4.5

1.1.4. Proceso de elaboración de una salsa picante a base de chiles secos

Los procedimientos de fabricación varían, pero en su mayoría se utiliza el siguiente proceso de elaboración (Figura 1).

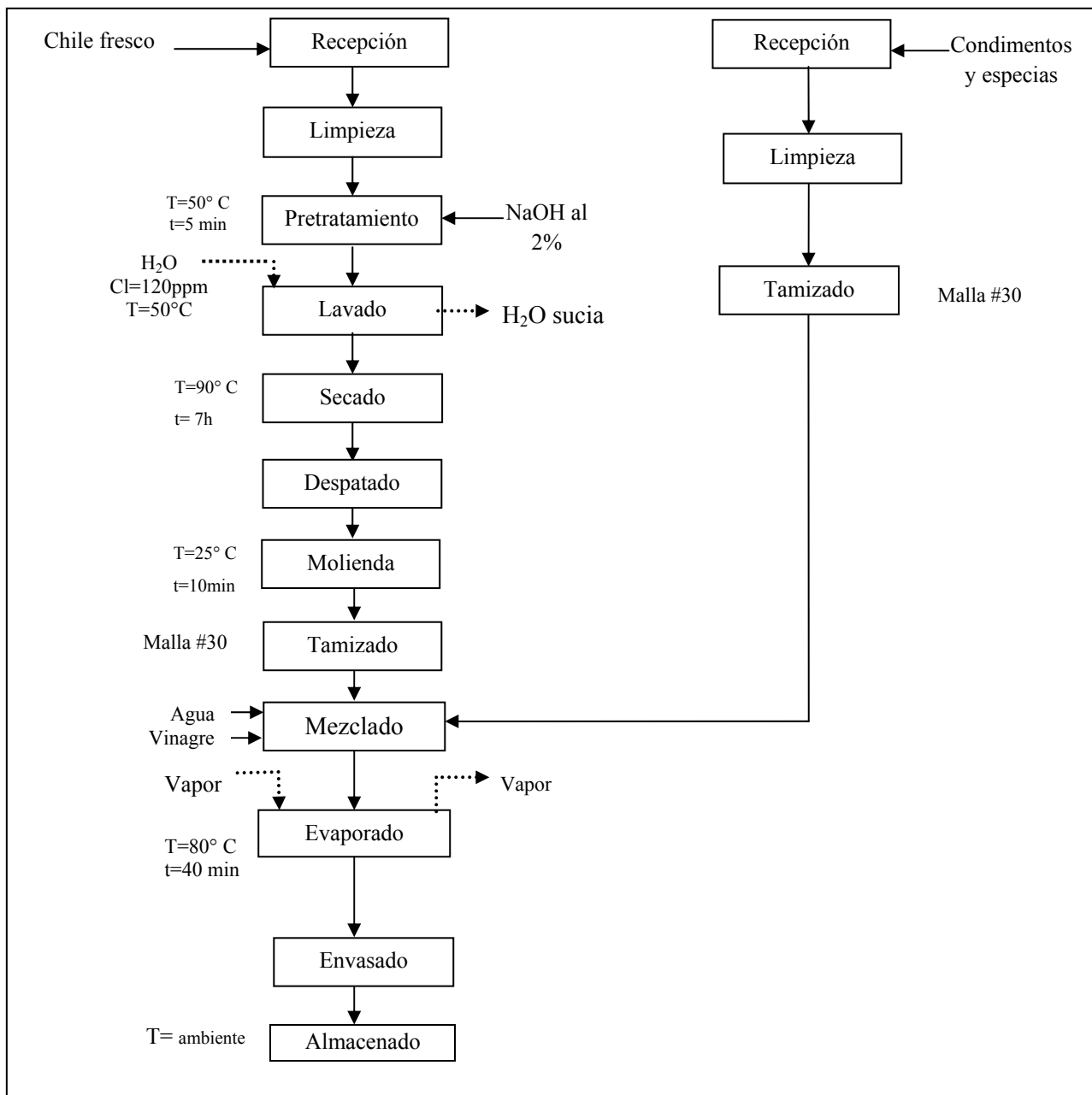


Figura 1. Diagrama de bloques del proceso de elaboración de una salsa picante a base de chiles secos (Carrillo, 1998)

Descripción del proceso:

Recepción. Al llevar a cabo la recepción de la materia prima en la planta transformadora de chiles, condimentos y especias, se hace una selección en donde los chiles deben cumplir con ciertas características como textura firme al tacto, color rojo y tamaño característico, enteros, sanos, sin descomposición.

Limpieza. Se realiza una limpieza de los chiles seleccionados en donde se separan de material extraño (polvo, suciedad, otro tipo de chile o hierba).

Pretratamiento. Es para abrir los poros del chile y hacer que la humedad contenida en éste fluya más rápido hacia el exterior reduciendo el tiempo de secado. En este paso, los chiles se sumergen en una solución de NaOH al 2% (peso/vol.) a 50°C por 5min.

Lavado. El agua empleada es clorada (120ppm) procurando una temperatura de 50°C, para eliminar el exceso de NaOH adquirido en el pretratamiento de los chiles.

Secado. La deshidratación del chile se lleva a cabo a una temperatura de 90°C durante 7h en un secador rotatorio, donde el chile contiene una humedad inicial de 89.3% hasta una humedad final de 19-20%.

Molienda y tamizado. Se procede a hacer una reducción de tamaño a través de una molienda seca, a la salida del molino se le coloca una criba por donde pasa el producto.

Mezclado. Se realiza el mezclado del chile en polvo, agua, vinagre, condimentos, especias y se obtiene finalmente la salsa.

Evaporado. Se hace en una marmita, permite reducir el contenido de agua del alimento, provocando el aumento de los sólidos totales para obtener finalmente la salsa.

Envasado. La salsa se transporta a un tanque de almacenamiento para luego ser enviada a la envasadora.

Almacenamiento. La salsa envasada se almacena a temperatura ambiente (*Carrillo, 1998*).

1.2. Sistemas dispersos

Una dispersión coloidal simple es un sistema que consiste en dos fases, una fase dispersa (por ejemplo, un polvo) bien distribuidos en un medio de dispersión. Las suspensiones y las emulsiones son los tipos más importantes de dispersiones coloidales. La distribución fina de un sólido en un líquido se llama suspensión. Las emulsiones constan de gotas de líquido inmiscible distribuidas en un medio líquido de dispersión. La clasificación de las dispersiones

por Ostwald creada hace más de 80 años sigue siendo válida hoy en día (Figura 2). En principio, siempre hay una fase interior discontinua o dispersa que es miscible con la fase exterior homogénea o continua (Mollet, 2001).

Las dispersiones son sistemas inestables, que pueden ser consideradas como cinéticamente estables, si la desestabilización es lo suficientemente pequeña en comparación con la vida útil esperada. Por lo que el análisis de desestabilidad en la dispersión es de importancia.

Fase Dispersa	Gaseoso	GAS	GAS/LÍQUIDO Espuma	GAS/SÓLIDO Espuma sólida
	Líquido	LÍQUIDO/GAS aerosol, niebla	LÍQUIDO/LÍQUIDO Emulsión	LÍQUIDO/SÓLIDO Papilla
	Sólido	SÓLIDO/GAS Humo	SÓLIDO/LÍQUIDO Suspensión	SÓLIDO/SÓLIDO Aleación
		Gaseoso	Líquido	Sólido
		Fase continua		

Figura 2. Clasificación de los sistemas dispersos de acuerdo a Ostwald (Mollet, 2001).

Dos estudios se llevan a cabo principalmente para tener conocimiento sobre el comportamiento de estabilidad:

1. Medición del potencial zeta de las partículas superficiales para predecir la estabilidad de la dispersión. Este método de predicción es eficaz para preparaciones relativamente simples, pero no es adecuado para formulaciones complejas. En efecto, el potencial zeta, no puede dar información sobre los efectos de los múltiples componentes disueltos en la fase continua (Mengual y col., 1999).
2. Pruebas de vida acelerada. Los productos se almacenan en condiciones específicas (temperatura, luz, etc.) y son sometidos a análisis regulares. El propósito de estas

pruebas de vida acelerada es apresurar el proceso de desestabilización, a fin de reducir el tiempo de estudio para el desarrollo de nuevos productos (*Mengual y col., 1999*).

Los dos principales fenómenos de desestabilización que afectan a la homogeneidad de las dispersiones son la migración de partículas (sedimentación) y la variación del tamaño de partícula o agregación (floculación). Las técnicas de uso común para detectar la desestabilización física son, de manera visual o bien con instrumentos de análisis que son más precisos y confiables (*Mengual y col., 1999*).

1.2.1. Suspensiones

Las suspensiones pueden ser acuosas o no acuosas. El rango clásico de tamaño de la fase dispersa para una dispersión coloidal está entre 1nm-1 μ m asumiendo que las partículas dispersas tienen una forma esférica. Las suspensiones tienen comúnmente partículas con diámetros mayores a 0.2 μ m y en ocasiones contienen partículas que exceden el rango de tamaño clásico dado, algunas veces de 50-100 μ m en diámetro. Los principios de la ciencia coloidal siguen siendo importantes para el comportamiento de estas partículas grandes (*Scharmm, 2005*).

1.2.1.1. Suspensiones homogéneas

Las partículas finas que no se disuelven y permanecen suspendidas en grandes cantidades pueden ser consideradas parte de un conjunto homogéneo con propiedades de flujo a menudo muy diferentes de las de un medio líquido. Las suspensiones presentan determinados tipos de comportamiento reológico y éste se debe establecer experimentalmente mediante aparatos adecuados y técnicas de procesamiento de datos. En operaciones en que la variación de la temperatura es importante, los datos reológicos deben ser recolectados en intervalos de temperatura apropiados (*Rhodes, 1990*).

1.2.1.2. Estabilidad de suspensiones

Para las dispersiones liofóbicas, que no son termodinámicamente estables, el grado de estabilidad cinética es muy importante. En una caracterización completa para considerar la estabilidad coloidal se pueden encontrar: la sedimentación, agregación y coalescencia.

La sedimentación resulta de una diferencia de densidad entre la fase dispersa y continua, produciendo dos capas separadas en la dispersión. Una de las capas que contiene una concentración mayor de la fase dispersa, puede promover la agregación. La agregación es cuando cualquier movimiento browniano, sedimentación o agitación causa que dos o más partículas dispersas se agrupen, prácticamente sin ningún cambio total en el área superficial. En la agregación las partículas conservan su identidad, pero pierden su independencia cinética moviéndose como una sola unidad (*Scharmm, 2005*).

La estabilidad de una suspensión se puede definir o evaluar de varias maneras. El método más simple consiste en centrarse en algunas propiedades importantes (medibles); por ejemplo, la velocidad de asentamiento, floculación o coagulación, y/o la relación tiempo-viscosidad (*Moudgil y Somasundaran, 1985*).

La estabilidad de una dispersión perfecta (es decir, en un tiempo infinito de estabilidad) no existe realmente, sobre todo por los efectos como la insuficiente repulsión entre sólidos muy pequeños (partículas), la alteración y transformación de algunos de los sólidos, el transporte de la materia a partir de partículas más pequeñas a las más grandes, y el desarrollo de floculación (*Moudgil y Somasundaran, 1985*).

La lentitud en la migración de partículas mostrada en una suspensión es característica de una dispersión estable y puede atribuirse a un mínimo de cuatro mecanismos: (1) Interacción de los sólidos con las moléculas del medio, resultante del movimiento Browniano; (2) mutua repulsión causada por sólidos de superficie activa y de las bajas concentraciones de sal, o predominio de cationes monovalentes y/o potencial de aniones; (3) Adsorción o recubrimiento con un material amorfo (coloides liofílicos de bajo peso molecular) o un coloide electronegativo de alto peso molecular puesto que la afinidad del material amorfo por el agua excede la atracción neta de las fuerzas de Van der Waals, (4) Impedimento estérico debido a la absorción de una molécula orgánica (*Moudgil y Somasundaran, 1985*).

Las suspensiones disponibles comercialmente por lo general tienen que cumplir especificaciones extremadamente altas con respecto a la estabilidad. Los siguientes criterios deben ser cumplidos por los productos comerciales:

No formación de sedimentos duros que no se puedan redispersar.

No cristalización (maduración Ostwald).

No descomposición química o microbiológica.

El criterio más difícil de cumplir es, probablemente, la formulación de las suspensiones que no contienen sedimentos, que sean fácilmente redispersables y que están constituidas por partículas primarias, incluso después de que el período de almacenamiento máximo sugerido ha pasado. Las siguientes son las mejores posibilidades para hacer frente a este desafío:

- División de los sólidos a un tamaño de partículas que no dará lugar a la sedimentación, incluso después de un almacenamiento largo, esto dependiendo de la densidad de los sólidos y la viscosidad del medio de la suspensión.
- Ajuste de la densidad de líquidos para que coincida con la de los sólidos. Esto hace que la tasa de sedimentación sea cero (Ley de Stokes).
- Adición de espesantes para aumentar la viscosidad del medio de suspensión, y la formación de gel con estructura en tres dimensiones por la adición de finas partículas inertes.
- Floculación controlada de la suspensión mediante la adición de agentes floculantes (electrolitos) los cuales forman puentes individuales con las partículas mediante la interacción de atracciones electrostática (*Mollet, 2001*).

1.3. Reología en suspensiones

Las propiedades de flujo de los alimentos son evaluadas con diferentes fines, tales como el control de la calidad, para entender la estructura, en la aplicación de procesos en ingeniería y las correlaciones con la evaluación sensorial. La correlación con la evaluación sensorial es un área única de la reología de los alimentos. En particular, la reología de los alimentos ha hecho contribuciones al estudio del sentido del gusto (*Rao, 1986*).

Estudios realizados por Barnes y col., (1989); Jeffrey y Acrivos, (1976); Jinescu (1974) y determinaron diferentes factores que afectan el comportamiento reológico de las suspensiones, los cuales a continuación se mencionan:

Interacción del medio continuo y disperso. La viscosidad de la suspensión se incrementa con la densidad de las partículas sólidas con las mismas dimensiones, forma y concentración

volumétrica. Si la densidad de ésta es mayor que la densidad de la fase continua puede aparecer sedimentación.

Forma y dimensiones. Suspensiones con partículas de forma esférica desarrollan una viscosidad mínima, la cual tiende a cambiar cuando se modifica la forma; partículas sólidas con dimensiones menores a 10 micras desarrollan un incremento de la viscosidad y un comportamiento reológico no-newtoniano mientras que las partículas sólidas más grandes que 10 micras, incrementan la viscosidad aproximadamente en forma lineal con el diámetro de éstas. La rotación y contacto de las partículas se incrementa con el tamaño de las partículas sólidas, en general la viscosidad aumenta con un incremento en el diámetro de la partícula sólida.

Distribución del tamaño de partícula. En aquellas suspensiones donde la distribución de tamaño de partícula es amplia, la viscosidad es menor que en aquellas con distribución de tamaño de idénticas dimensiones, debido a que las partículas pequeñas ocupan los espacios vacíos. Este fenómeno se presenta tanto en partículas finas a bajas concentraciones así como partículas de mayor tamaño, no obstante al incrementar la concentración de éstas, la suspensión se vuelve más compacta por lo tanto la viscosidad se incrementa.

Concentración. A concentraciones pequeñas (dependiendo de la forma y dimensiones de la partícula) la viscosidad generalmente se incrementa en forma lineal. Después de que se excede cierto valor de concentración (concentración crítica ó máxima), la viscosidad de la suspensión se incrementa significativamente con pequeños incrementos de concentración debido a la interacción entre partículas (coaliciones).

Procesos físicos y químicos. Dependiendo del tipo de operación unitaria a la cual se someta la suspensión se puede presentar la formación de más partículas sólidas, lo que afecta la viscosidad. Algunas de estas operaciones pueden ser la cristalización, polimerización, precipitación y formación de sal (*Barnes y cols, 1989; Jeffrey y Acrivos, 1976; Jinescu, 1974*).

1.3.1. Tipos de comportamiento reológico en suspensiones

En términos generales, tres tipos de comportamiento pueden prevalecer en las suspensiones y éstos se derivan de las consideraciones anteriores:

a) Viscosidad independiente del tiempo

La curva de flujo de las suspensiones sigue diversas modalidades de relación con la velocidad de cizalla $\dot{\gamma}$, como se ilustra en la Figura 3 y se analiza a continuación:

Newtoniano. Aquí la viscosidad es constante y no depende de la velocidad de cizalla ($\dot{\gamma}$). Los líquidos puros, o suspensiones de concentración de sólidos muy pequeña aproximadamente de 0 a 10%, en general, se comportan de esta manera. Algunos fluidos comunes que siguen este comportamiento bajo condiciones normales de presión y temperatura son el agua, el vino y algunos aceites minerales. Estos fluidos obedecen la ley de Newton (ecuación 1)

$$\tau = \mu(\dot{\gamma}) \quad (1)$$

donde μ , la viscosidad, es una constante independiente de la velocidad de cizalla. En la figura 3 se muestra una gráfica del esfuerzo cortante τ en función de la velocidad de cizalla $\dot{\gamma}$. La gráfica de un fluido newtoniano es una recta con pendiente igual a μ (Geankoplis, 1998; Rhodes, 1990).

Adelgazante a la cizalla. Este término describe un comportamiento de adelgazamiento a la cizalla en las suspensiones o la reducción de la viscosidad aparente con el aumento de la velocidad de cizalla. Las suspensiones de partículas, cuando se deforman tienden a seguir la dirección de la deformación, se deslizan fácilmente con el aumento de la velocidad de cizalla y tienden a seguir este modelo. Este es el comportamiento más común de las suspensiones (Geankoplis, 1998; Rhodes, 1990).

En la Figura 3 se muestra la forma de la curva de flujo, que por lo general puede representarse mediante una ecuación de tipo potencial (ecuación de Ostwald-de Waele):

$$\tau = K(\dot{\gamma})^n \quad (2)$$

Donde: K es el índice de consistencia en $Pa \cdot s^n$

n es el índice de comportamiento de flujo, cantidad adimensional.

$n < 1$ si es fluidificante a la cizalla

$n > 1$ si es espesante la cizalla

La mayoría de los fluidos no newtonianos pertenecen a esta categoría: las grasas, las suspensiones de almidón, la mayonesa, ciertos fluidos biológicos (*Geankoplis, 1998; Rhodes, 1990*).

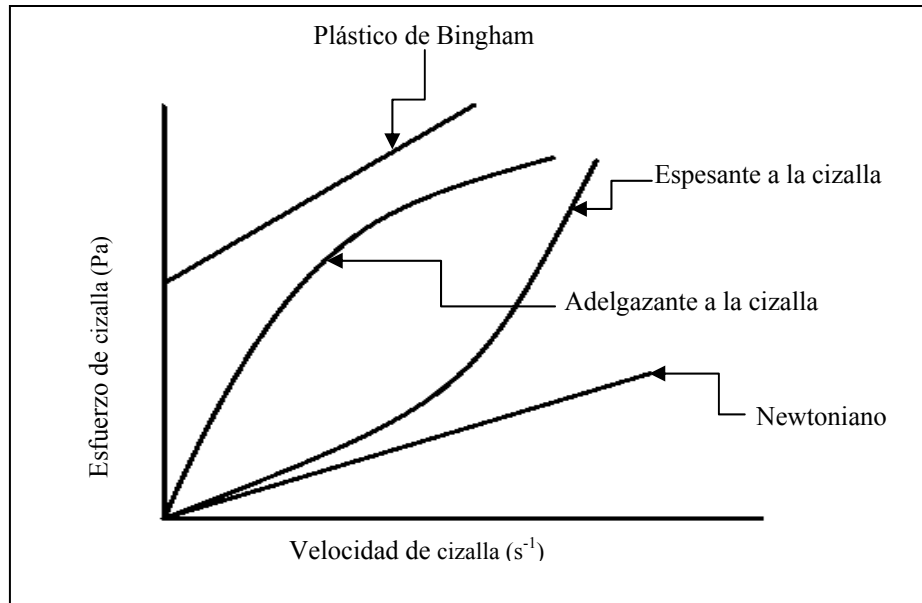


Figura 3. Clasificación para fluidos independientes del tiempo (*Geankoplis, 1998*)

Espesante a la cizalla. Un número limitado de suspensiones presentan un comportamiento de flujo donde el sistema se espesa con el aumento de la velocidad de cizalla. Muestra un aumento de la viscosidad aparente al elevar la velocidad de cizalla. Algunas soluciones espesantes a la cizalla son la harina de maíz, almidón en agua y varias soluciones que contengan concentraciones elevadas de polvos en agua (*Geankoplis, 1998; Rhodes, 1990*).

Plástico de Bingham. Tal como se muestra en la Figura 3, sólo difieren de los newtonianos en cuanto a que la relación lineal no pasa por el origen. Estas suspensiones poseen un límite de elasticidad y para iniciar el flujo se requiere un exceso de cierto valor del esfuerzo de cizalla τ_y (llamado *límite de fluidez*) en Pa. Algunos fluidos tienen un límite de esfuerzo τ_y finito, pero la gráfica de τ en función de $\dot{\gamma}$ se curva hacia arriba o hacia abajo según el modelo de Oswald. Sin embargo, esta desviación con respecto a la plasticidad de Bingham suele ser pequeña,

siguiendo la ley de la potencia (Herschel Bulkley). Entre los ejemplos de fluidos con un límite de fluidez están la margarina, las mezclas de chocolate, las grasas, las suspensiones de granos en agua, y los lodos de desecho.

b) Viscosidad dependiente del tiempo

En este sentido, la viscosidad aparente de las suspensiones varía con la velocidad de cizalla y con el tiempo que la velocidad de cizalla es aplicada. La historia de deformación de las suspensiones se vuelve muy importante y por lo tanto, dos modos de comportamiento son posibles (*Geankoplis, 1998; Rhodes, 1990*).

Tixotrópicos. La viscosidad de las suspensiones exhiben una disminución reversible del esfuerzo de cizalla cuando la velocidad de cizalla es constante. Cuando la deformación se elimina, las suspensiones recuperan o se acerca a su estructura original. Entre los principales ejemplos pueden incluirse el zumo de tomate y la leche condensada. (*Geankoplis, 1998; Rhodes, 1990*).

Reopécticos. Son muy raros y exhiben un aumento reversible del esfuerzo cortante con el tiempo cuando la velocidad de cizalla es constante (*Rhodes, 1990*). Por ejemplo, dispersiones y disoluciones de polímeros cerca del límite de solubilidad.

c) Fluidos viscoelásticos

Los fluidos de esta naturaleza exhiben una recuperación elástica de las deformaciones que se presentan durante el flujo, es decir, muestran propiedades tanto viscosas como elásticas. Parte de la deformación se recupera al eliminar el esfuerzo. Entre los principales ejemplos están las masas de harina y los betunes (*Geankoplis, 1998; Rhodes, 1990*).

1.3.2. Métodos de medición del comportamiento al flujo

Varios instrumentos se emplean para la medición de las propiedades de flujo a través de métodos fundamentales, y algunos están disponibles comercialmente. Diversos instrumentos comerciales se han diseñado para ser utilizados en el estudio de fluidos alimenticios. La palabra viscosímetro se utiliza para un instrumento diseñado exclusivamente para

proporcionar información sobre la función de la viscosidad, mientras que la palabra reómetro es utilizado para un instrumento que puede facilitar información sobre otros parámetros reológicos, como los relacionados con el comportamiento viscoelástico. Los instrumentos más utilizados para medir el comportamiento al flujo son los capilares y los viscosímetros rotacionales. Los rotacionales pueden ser clasificados bajo la geometría específica empleada: cilindros concéntricos, plato y cono, y placas paralelas. Tres requisitos son comunes a todas las geometrías mencionadas anteriormente. Estos son: (1) flujo laminar del fluido, (2) operación isotérmica, y (3) no deslizarse en las interfaces sólido-líquido (Rao, 1986).

Cilindros concéntricos

Es el tipo más común, opera en un intervalo de velocidad de cizalla moderado, generalmente se utiliza para medir materiales de viscosidad baja y media. El viscosímetro de cilindros concéntricos consta de dos cilindros con un estrecho espacio entre ellos en donde se coloca el material en estudio (Steffe, 1996).

Una pequeña muestra de las suspensiones es deformada en la región anular entre un cilindro rotatorio interno r_i con velocidad angular ω_{ri} y un cilindro exterior estático r_o (Figura 4). M es la medida de la fuerza o torque sobre el cilindro interno, el esfuerzo de cizalla τ_{ri} en la superficie del cilindro interno de longitud ℓ es:

$$\tau_{ri} = M/2\pi r_i \ell r_o \quad (3)$$

Ahora la velocidad de deformación en el espacio anular está descrita por la velocidad angular del fluido en la posición r por

$$\dot{\gamma}_r = \frac{d\omega_r}{dr} \quad (4)$$

Que puede ser escrita en forma integral como

$$\int_{\omega_{r_o}}^{\omega_{r_i}} d\omega_r = \omega_{r_i} = \int_{r_o}^{r_i} \dot{\gamma} \frac{dr}{r} \quad (5)$$

La ecuación anterior puede ser resuelta para dar una expresión para la velocidad de deformación:

$$\dot{\gamma}_{ri} = \frac{2\omega_{ri}}{n' \left(1 - \beta n'\right)} \quad (6)$$

donde

$$n' = \frac{d(\log \tau_{rt})}{d(\log \omega_{rt})} = \frac{d(\log M)}{d(\log \omega_{rt})} \quad (7)$$

y

$$\beta = \left(\frac{r_i}{r_o} \right) \quad (8)$$

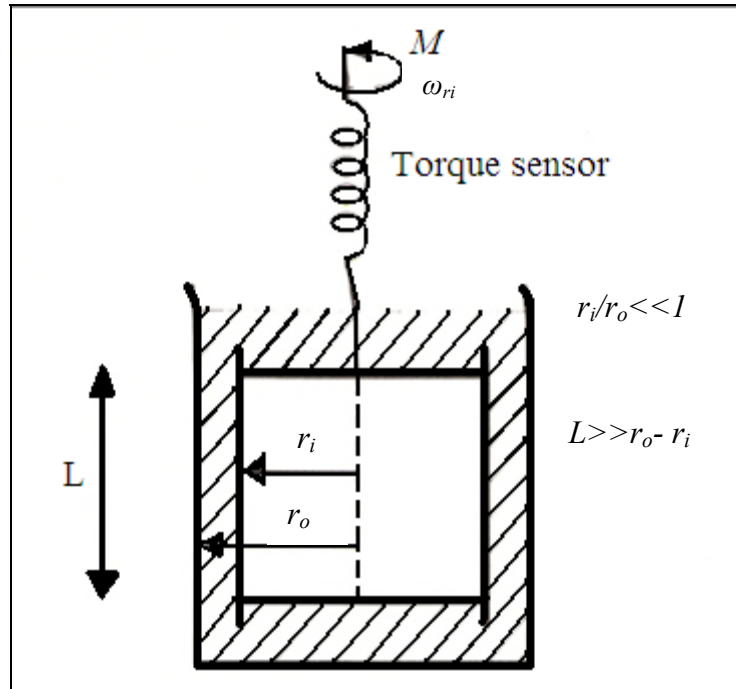


Figura 4. Representación esquemática de un viscosímetro de cilindros concéntricos
(Rhodes, 1990)

A partir de los datos experimentales se obtienen valores de torque en función de la velocidad de cizalla; éstos se grafican y se ajustan al modelo potencial, Herschel Bulkley, newtoniano según sea el caso (Rhodes, 1990).

La geometría de cilindros concéntricos es adecuada para estudiar el comportamiento de las suspensiones homogéneas o con tamaño de partícula al menos tres veces que el espacio anular. Para suspensiones con un alto contenido de sólidos es posible utilizarlos sin embargo, se ha observado un deslizamiento entre la suspensión y la superficie del cilindro rotacional. El comportamiento puede ser evaluado utilizando cilindros de diferentes radios y haciendo

correcciones a $\dot{\gamma}$. La principal limitación de este tipo de aparatos está en la obtención de velocidad de cizalla alta, esto radica en que a velocidad de cizalla alta las partículas son expulsadas hacia las paredes del cilindro externo causando la turbulencia y la centrifugación. Otra limitación es que el espacio anular sea menor o igual al tamaño de partículas de la suspensión (Rhodes, 1990).

1.4. Gomas

El término goma se ha extendido a un grupo muy amplio de polisacáridos de alto peso molecular, que tienen la capacidad de actuar como espesantes y gelificantes, y que presentan además algunas propiedades funcionales como emulsificación, estabilización, crioprotección, entre otros. Muchos polímeros naturales (almidón, pectinas y celulosas) tienen algunas características propias de las gomas, por lo que hay autores que los incluyen en la clasificación general de estas últimas; se observa entonces que existen gomas naturales, semisintéticas y sintéticas (Badui, 2006).

Las gomas semisintéticas se elaboran a partir de un polímero natural que se somete a alguna transformación física o química; en esta categoría están los distintos derivados celulósicos, al igual que la goma xantana. Las gomas sintéticas son polímeros vinílicos y acrílicos que hasta la fecha no están aprobadas para el consumo humano, aunque presentan muchas de las propiedades de las gomas naturales (Badui, 2006).

Las propiedades funcionales de las gomas, como son la de espesante y gelificante, dependen de varios factores: a) Los intrínsecos propios de la molécula, como el peso molecular, grados de ionización y de ramificación, etc., y b) los extrínsecos, que son propios del sistema, tales como pH, la fuerza iónica, la temperatura, la concentración de otros componentes, la interacción con los componentes del alimento en que se emplean, si se emplean solos o mezclados con otros hidrocoloides, etc. Cada goma presenta características físicas y químicas determinadas, que no pueden sustituirse fácilmente con el uso de otro polisacárido; la combinación de dos o más de estos compuestos genera nuevas propiedades funcionales que no tienen en lo individual (Badui, 2006).

1.4.1. Xantana

Heteropolisacárido ramificado sintetizado por diferentes especies de bacterias *Xanthomonas*, principalmente *X. campestris*, que producen la goma como una cobertura de protección. Después de su producción, el medio se pasteuriza y se separa por filtración el microorganismo. La goma xantana está formada por residuos de D-glucosa, D-manosa y ácido D-glucurónico (Figura 5) en una relación molar de 2.8:3.2; también contiene aproximadamente 4.7% de grupos acetilo y 3.5% de ácido pirúvico; su peso molecular es de alrededor de 3000000 Dalton.

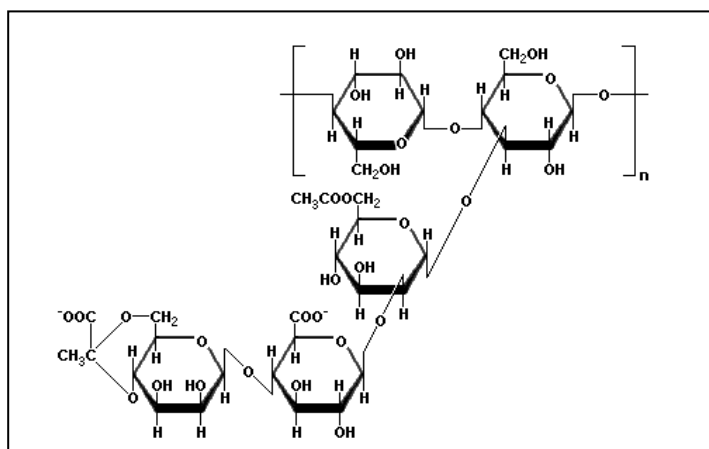


Figura 5. Unidad estructural de la goma xantana (Zamora, 2010)

Produce soluciones translúcidas aún a altas concentraciones. Es una goma soluble en agua fría y caliente, forma soluciones muy viscosas a bajas concentraciones, estables en un rango de pH de 1-9 por lo que puede ser utilizada en formulaciones que contienen ácido acético, cítrico o fosfórico. La xantana es compatible con la mayor parte de los ácidos y sales presentes en los alimentos; a una concentración de goma de alrededor de 0.4%, la viscosidad se ve afectada por los electrolitos, pero alrededor del 1% hay un aumento significativo de la viscosidad en presencia de sales. La xantana también puede ser utilizada en presencia de altas concentraciones de azúcar (arriba de 60%). En un momento dado la xantana incrementa su viscosidad con el contenido de azúcar. Es resistente a la degradación enzimática, funciona como un crioprotector, es compatible con otras gomas (Imeson, 1997; Badui, 2006). La viscosidad en las soluciones de xantana es afectada ligeramente por el aumento de la temperatura de 10 a 90°C en presencia de sales, que mejoran la estabilidad al calor; esta propiedad es bastante inusual entre los hidrocoloides. En general los cambios de temperatura

en las cercanías de 60-70°C tiene poco efecto sobre la viscosidad de las soluciones y la goma misma es estable (*Imeson, 1997; López, 2002*). La goma xantana es el mejor polisacárido bacteriano ampliamente utilizado por la industria alimentaria.

Las soluciones acuosas de xantana son altamente viscosas, incluso a bajas concentraciones, y presentan un fuerte carácter adelgazante a la cizalla, lo que es muy útil para la estabilización de suspensiones. Estas propiedades son resultado de una conformación rígida y a su alto peso molecular (*Imeson, 1997*). A bajas velocidades de cizalla las muestras exhiben alta viscosidad. El aumento de velocidad de cizalla progresivo reduce la viscosidad de la muestra. Este comportamiento es reversible, y la viscosidad aumenta al reducir de la velocidad de cizalla. La xantana permite la manipulación y el control de proceso como la difusión, el bombeo y la pulverización. La goma xantana dispone de una amplia variedad de aplicaciones en los alimentos. Las dispersiones de xantana ha dado lugar al desarrollo de una serie de formulaciones como salsas, salsas gravies y postres, que pueden ser calentados o refrigerados sin perder sus características texturales (*Stephen y col., 2006*).

1.4.2. Carboximetilcelulosa (CMC)

La celulosa es el polisacárido estructural del reino vegetal, se considera el compuesto orgánico más abundante de la naturaleza y constituye una fuente de glucosa prácticamente inagotable que se renueva de forma continua mediante la fotosíntesis. La celulosa se encuentra en las frutas, hortalizas y los cereales como constituyente estructural de las paredes celulares, y también la producen ciertos microorganismos. Comercialmente, este polisacárido se obtiene de la madera y del algodón, siendo ésta última la fuente más pura. La celulosa es un homopolisacárido lineal de D-glucopiranososa, con monómeros unidos mediante enlaces glucosídicos $\beta(1,4)$; su peso molecular llega a ser hasta de varios millones, y su alta resistencia mecánica y química se debe a que sus cadenas paralelas se alinean sobre un eje longitudinal y establecen un gran número de puentes de hidrógeno intermoleculares, lo que da origen a microfibrillas altamente estructuradas. Tiene zonas cristalinas y amorfas: las primeras se producen cuando las moléculas se enlazan con un alto grado de ordenación, mientras que en las segundas se producen cuando las moléculas no tienen orden. A pesar de tener muchos grupos hidroxilos libres es muy poco soluble en agua, debido a que estos grupos no se hidratan

por estar actuando entre sí. Generalmente la celulosa no se usa como aditivo de manera directa; se emplean más bien sus diversos derivados, principalmente la carboximetilcelulosa, que se fabrica haciendo reaccionar en un tanque con agitación la celulosa del algodón con hidróxido de sodio y ácido monocloroacético. El derivado obtenido se neutraliza y se seca, y el exceso de sales se elimina mediante una extracción con alcohol-agua. En la Figura 6 se muestra la unidad estructural básica de la CMC (*Badui, 2006*).

Sus propiedades dependen del grado de sustitución (0.3-0.9) y del de polimerización (500-2.000). Las moléculas de bajo grado de sustitución (≤ 0.3) son insolubles en agua pero solubles en álcalis, mientras que las mas sustituidas (≥ 0.4) son solubles en agua. Tanto la solubilidad como la viscosidad son dependientes del pH (*Belitz, 1992*).

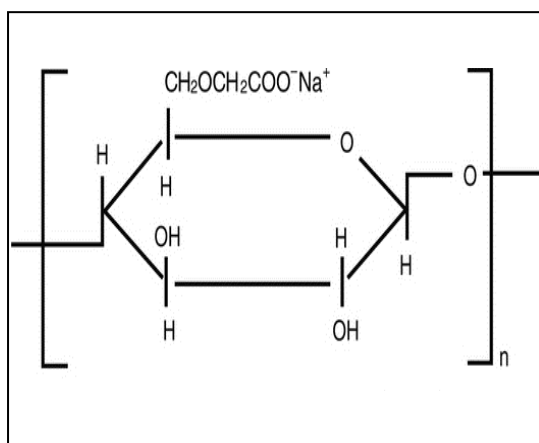


Figura 6. Unidad estructural de la CMC (*AMTEX, 2010*)

La mayor parte de los productos de CMC sódica comerciales tienen un grado de sustitución (GS) entre (0.4-0.8). Las moléculas de CMC son largas y rígidas con carga negativa debido a los numerosos grupos carboxilos ionizados que contiene y a la repulsión electrostática la cual hace que sus moléculas en solución adopten una forma extendida. De la misma forma las cadenas adyacentes se repelan entre sí. En consecuencia las soluciones de CMC tienden a ser altamente viscosas y estables. La CMC se encuentra disponible en una gran variedad de tipos de viscosidad (*Fennema, 1993*).

La viscosidad es controlada por la cuidadosa selección de celulosa y/o por la degradación oxidativa del producto bruto con reactivos como el peróxido de hidrógeno para obtener el tipo de baja densidad (*Imeson, 1997*). La CMC, da soluciones adelgazantes a la cizalla. Cuando el GS se encuentra por debajo de 1.0 las soluciones son tixotrópicas (*Imeson, 1997*).

El pH de una solución al 1% del CMC está típicamente en un rango de 7.0 a 8.5. El efecto del pH sobre la viscosidad de la CMC en un rango de pH 5-9 es leve. Por debajo de pH 3, la viscosidad puede aumentar, y, finalmente, la precipitación en forma de ácido libre de CMC se puede producir. Por lo tanto, la goma de celulosa no debe ser empleada en los sistemas de alimentos muy ácidos. En valores de pH por encima de 10, una ligera disminución de la viscosidad se puede producir (*Imeson, 1997*).

La viscosidad de las soluciones de CMC disminuye al aumentar la temperatura. Normalmente este efecto es reversible, pero el calentamiento prolongado a altas temperaturas puede degradar permanentemente la CMC por lo que la viscosidad no se restaurará al enfriarse (*Imeson, 1997*).

La presencia de sales en disolución reprime la degradación de la CMC y por tanto afecta la viscosidad. El efecto de las sales en la viscosidad del CMC también depende del orden de adición. Si la CMC se ha disuelto completamente en agua y la sal es añadida después, tiene un efecto menor sobre la viscosidad. Si la sal se disuelve antes de que la CMC sea agregada, la sal inhibe la desagregación (rompiendo regiones cristalinas en el polímero) dando como resultado una menor viscosidad (*Imeson, 1997*).

Las salsas, salsas gravies, sopas y jarabes representan una amplia gama de fluidos de los productos alimenticios que suelen utilizar hidrocoloides para estabilizar incluyendo derivados de celulosa. La celulosa modificada físicamente puede ayudar a mantener la integridad estructural durante la congelación. Además, pueden reducir sustancialmente el contenido calórico de los alimentos mediante la sustitución de los carbohidratos o grasas. Los derivados modificados químicamente se utilizan con frecuencia en estos productos para aumentar la eficiencia del agua y reduce el problema de sinéresis por descongelación, que puede

proporcionar viscosidad en los sistemas que contienen bajos niveles de grasas y aceite (Stephen, 2006).

1.4.3. Aplicaciones de polisacáridos en salsas

Durante los últimos años, el consumo de salsas aumentó significativamente debido a los nuevos hábitos nutricionales de los consumidores. Para la industria de alimentos las salsas son importantes ya que representan productos con un alto valor añadido, que también son muy fáciles de fabricar. Muy a menudo nuevos productos surgen mediante la adición de algunos ingredientes específicos (encurtidos, especias, trozos de verduras, etc.) (Mandala y col., 2004).

Las salsas de aderezos y salsa de tomate fueron estudiados por Fox y Wareing (1997; citado en Sikora y col., 2007). Estos autores tuvieron éxito en la combinación de polisacáridos por ejemplo tragacanto con ácido poligalacturónico, goma arábiga o derivados de la celulosa, la goma de tragacanto con goma xantana y goma guar, goma de karaya y goma arábiga, así como la goma guar combinado con goma xantana. Además Kowalski y col. (2006; citado en Sikora y col., 2007), señalan a los almidones como adecuados co-espesantes para salsas dulces. Estos estudios llevaron a comprobar el rendimiento de las mezclas de polisacáridos que contienen almidones de diversos orígenes como el componente dominante para espesar salsas. Así mismo se ha investigado el efecto de los hidrocoloides (tragacanto, guar, CMC y xantana) que provienen de fuentes diferentes y en diferentes concentraciones en las propiedades reológicas de la salsa de tomate (kétchup) en tres diferentes formulaciones. El estudio mostró que todos los hidrocoloides probados se pueden utilizar para mejorar la consistencia / viscosidad de la salsa de tomate (kétchup), con la adición de los hidrocoloides y el aumento de sus concentraciones el índice de consistencia y la viscosidad aparente aumentaron (Sahin y Ozdemir, 2004).

2. METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

Problema

Las salsas picantes tipo botaneras (de partículas finas) presentan comúnmente desestabilización después de su preparación debido a la sedimentación de las partículas, fenómeno que es influenciado por la temperatura, por lo que se formulará una salsa picante y se estudiará el efecto de la temperatura y concentración de dos biopolímeros sobre las propiedades de flujo y estabilidad.

2.1. Objetivo general

Estudiar el efecto de la temperatura y la concentración de goma xantana y carboximetilcelulosa sobre las propiedades de flujo y estabilidad de una salsa picante de partículas finas.

2.2. Objetivos particulares

Objetivo particular 1

Analizar el efecto de la concentración de goma xantana y carboximetilcelulosa sobre los parámetros texturales, propiedades de flujo y estabilidad a temperatura ambiente, de una salsa picante tipo batanera formulada en el laboratorio.

Objetivo particular 2

Seleccionar dos concentraciones de goma que proporcionen las características de un producto comercial y evaluar la influencia de la temperatura (5, 25 y 40°C) y el tiempo de almacenamiento (4 semanas) sobre los parámetros reológicos, texturales y de estabilidad en las formulaciones.

2.3. Desarrollo metodológico

2.3.1. Materiales

Salsa marca “Botanera”: con los siguientes ingredientes de acuerdo a la etiqueta: agua, sal yodada, chiles de árbol, ácido acético, goma xantana, condimentos, especias, benzoato de sodio, color rojo No. 40 y color amarillo No. 60.

Salsa marca “Valentina”: con los siguientes ingredientes de acuerdo a la etiqueta: agua, chiles secos puyas y serranos, ácido acético, sal yodatada, condimentos, especias y 0.1% de benzoato de sodio.

Ingredientes para formulación base:

- Mezcla de chile de árbol y piquín se compraron molidos, verificando que el polvo conserve el color propio del chile adquiridos en la Central de Abastos Tultitlán, Edo. de México.
- Ácido cítrico adquirido en la Central de Abastos Tultitlán, Edo. de México.
- Ajo y cebolla en polvo a granel adquiridos en la Central de Abastos Tultitlán, Edo. de México.
- Condimentos: sal y azúcar a granel, vinagre de manzana (marca “Barrilito) adquiridos en la Central de Abastos Tultitlán, Edo. de México.
- Especias (pimienta, jengibre, clavo, canela a granel) adquiridos en la Central de Abastos Tultitlán, Edo. de México.
- Benzoato de sodio 0.01% (Safe Iberoamericana S.A. de C.V.),
- Agua purificada
- Goma xantana o CMC (AMTEX S.A. de C.V.).

2.3.2. Actividades preliminares

2.3.2.1. Ensayo de técnicas con salsas comerciales.

Se realizaron pruebas físicas, texturales, reológicas y de estabilidad de las salsas comerciales. Estas determinaciones se realizaron con el procedimiento descrito en el apartado correspondiente.

2.4. Métodos

2.4.1. Selección de la formulación a emplear.

Se elaboraron 100 g de muestra, los ingredientes fueron pesados en una balanza analítica, la salsa se elaboró en un vaso de precipitados con un agitador de vidrio, se añadió el agua y se dispersó primero el conservador, especias, condimentos y finalmente los chiles.

La elaboración de la salsa picante tipo botanera se realizó a partir de dos formulaciones obtenidas bibliográficamente (Cuadro 2). A partir de estas formulaciones se realizaron ensayos variando los ingredientes hasta obtener las características de sabor y pungencia seleccionadas por el investigador. En el capítulo de discusión de resultados se presenta la formulación final.

Cuadro 2. Formulaciones bibliográficas para elaborar salsa picante tipo botanera

Ingredientes	Formulación (% P/P)	
	1	2
Agua	67.72	58.22
Vinagre	20.64	8.73
Chile de árbol		5.09
Chile piquín		13.1
Chile morita	6.4	
Limón		14.55
Jengibre	0.05	0.29
Benzoato de sodio		0.1
Cebolla	0.8	
Almidón de maíz	1.5	
Ajo	0.35	
Sal	0.35	
Clavo	0.05	
Canela	0.09	
Azúcar	1.9	

1 formulación obtenida de tesis para un símil de salsa valentina (Carrillo, 1998), 2 receta para elaborar una salsa casera (CONEVYT, 2009)

2.4.2. Análisis granulométrico de los chiles en polvo.

Su finalidad es obtener la distribución de tamaño de las partículas presentes en una muestra. Se realizó un tamizado manual, la muestra se homogenizó y se pesó (100 g de polvo de chile), posteriormente se colocó en el tamiz. Los tamices se dispusieron en orden

decreciente del tamaño de abertura (malla #20, #30, #40 y #60) y se cerraron con una tapa en la parte superior, el juego contó una bandeja de residuos. Se golpeó el tamiz suavemente con la mano, rotándolo gradualmente durante 10 minutos. El polvo se transfirió al tamiz de menor abertura y el proceso se repitió hasta separar el material más grande. La fracción retenida en cada tamiz se pesa. Finalmente los tamices se limpiaron con la escobilla con el fin de eliminar todo el material sobrante. Los resultados se presentaron de forma tabular y gráfica la cual es mas concisa, la distribución de tamaño puede definirse en términos de peso y se presenta como frecuencia y frecuencia acumulativa (Cabrera, 2001).

2.4.3. Preparación de la salsa picante tipo botanera con goma xantana carboximetilcelulosa.

Para el objetivo particular 1, se elaboraron 200 g de muestra a temperatura ambiente, los ingredientes del Cuadro 5 (ver página 37) fueron pesados en una balanza analítica modelo AR3130 (OHAUS, Estados Unidos), la salsa se elaboró en un agitador con propela de hélice RW20 (IKA, Estados Unidos) con una potencia de 72 W y un rango de velocidad de 60 a 2000 rpm, se añadió el agua y se fue dispersando la goma de acuerdo a la concentración requerida, posteriormente se agregó el vinagre, los demás condimentos, especias ingredientes y los chiles.

Para el objetivo particular 2, se elaboraron 20 litros de salsa picante tipo botanera a temperatura ambiente, utilizando un mezclador modelo NSP025 (NETTCO, Estados Unidos) con una potencia de 1/4 hp a 1725 rpm; se añadió el agua y se fue dispersando la goma de acuerdo a la concentración requerida (0.3% y 0.5%), posteriormente se agregó el vinagre y los demás ingredientes.

2.4.4. Almacenamiento de la salsa picante tipo botanera con goma a diferentes temperaturas.

La salsa se almacenó en recipientes de vidrio con tapa plástica tipo rosca de un litro y éstos se colocaron a la temperatura de 5°C en un frigorífico de uso doméstico modelo 4107 (Philips, Holanda) se llevó a cabo la caracterización mediante el uso de termopares; a 25°C controlando la temperatura con el aire acondicionado del laboratorio y a 40°C en una

cámara de control de temperatura modelo HUMICAB-60 (CRAFT, México) para la cual se verificó la temperatura con un termómetro de mercurio. Las mediciones para las propiedades de flujo y texturales se realizaron una vez por semana y las de estabilidad dos veces por semana. Estas temperaturas fueron seleccionadas debido a que se busca un producto comercial estable, por lo que el estudio de la salsa fue en condiciones extremas mismas que se llegan a presentar en el país.

2.4.5. Métodos de evaluación

a) pH

Se utilizó un potenciómetro modelo pHTester (OAKTON, Estados Unidos). Se calibró sumergiendo el electrodo en una solución ácida con pH de 4, se encendió dentro de ésta hasta que diera el valor de la solución, después se apagó y se limpió el electrodo con agua destilada, posteriormente se sumergió en una solución con pH de 7 y se encendió dentro de ésta hasta obtener el valor de la solución limpiando el electrodo con agua destilada. Ya calibrado el electrodo del potenciómetro se sumergió en la muestra, se encendió dentro de ésta y se esperó un tiempo de tres minutos para obtener el valor de pH, tomando la lectura directa.

b) Medición de densidad por diferencia de pesos

Por medio del método de diferencia de peso se determinó la densidad de la salsa. Se pesó un picnómetro de 24 ml vacío en una balanza analítica modelo AR3130 (OHAUS, Estados Unidos). Se llenó el picnómetro hasta el volumen determinado. Con una pipeta se colocaron 24 ml de agua destilada (de la que se conoce con exactitud su densidad) en el picnómetro y pesó. Posteriormente se llenó el picnómetro con la muestra (salsa) hasta el volumen determinado y se pesó. Con los datos obtenidos se calculó la densidad (ρ) de la salsa expresada como densidad relativa (peso específico), por medio de la ecuación 9:

$$\rho_{relativa} = \frac{Peso_{picnómetro_muestra}(g) - Peso_{picnómetro_vacía}(g)}{Volumen(ml)} [=] g/ml \quad (9)$$

(Geankoplis, 1998)

En el objetivo 1 esta prueba se realizó una vez y en el objetivo 2 se realizó al inicio y al final del almacenamiento de la salsa.

c) Color

Las mediciones se realizaron a 30 ml de muestra contenidas en un recipiente de vidrio cilíndrico (5 cm de diámetro interno X 1.3 cm de altura), mediante un colorímetro, modelo CR-300 (MINOLTA, Japón); utilizando el tubo de proyección de luz CR-A33f para materiales líquidos con fuente de iluminación C y observador 2°, se emite una radiación incidente sobre el producto y se obtienen los valores de L (luminosidad), a (rojo-verde) y b (amarillo-azul) se empleó la escala y espacio CIELAB para determinar la posición del color (ver Figura 7).

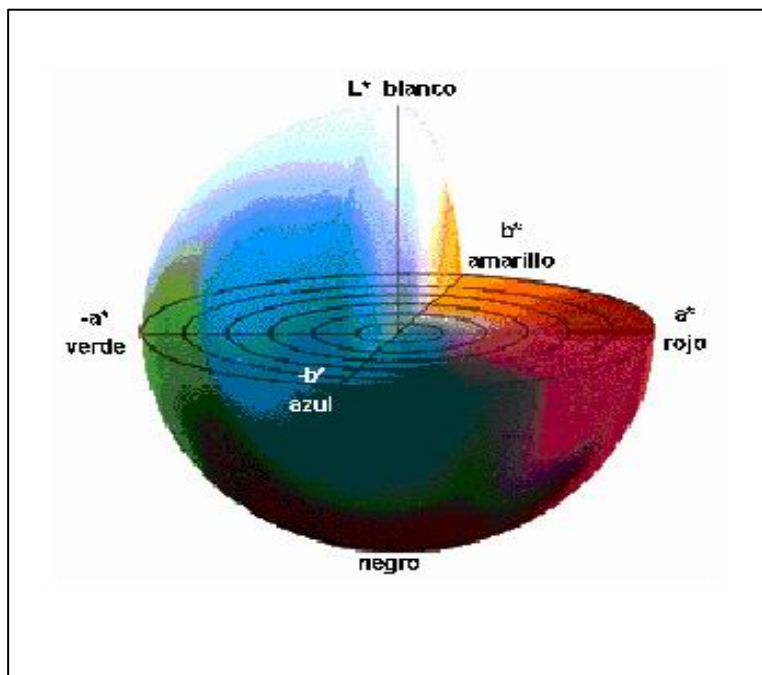


Figura 7. Diagrama de colores en el espacio CIELAB (Maggini, 2009).

El instrumento se calibró oprimiendo la opción “espacio del color” (X, Y) del equipo posteriormente el tubo de proyección se colocó en una placa blanca de calibración y se presionó el botón de medición hasta obtener los valores de medida $X=0.3162$, $Y=94.7$ y 0.3329 . Ya calibrado, el tubo de proyección se introdujo dentro de la muestra, tomando lectura directa de L, a y b, en un espacio CIELAB (Minolta, 1991)

d) Caracterización reológica

Se realizó en un viscosímetro de cilindros concéntricos modelo Rheomat 115 (Contraves, Francia) el cual cuenta con un baño modelo RT51 Rheotherm (METTLER, Estados Unidos), manteniendo la temperatura constante para regular la temperatura de las muestras a 5, 25 y 40°C. Se utilizó la geometría DIN 145, un volumen de muestra de 140 ml y un intervalo de velocidad de cizalla de 6.65 a 1200s⁻¹ con 10 puntos de ascenso y 10 de descenso y 10 segundos por punto; se registró el porcentaje de torque (%τ) y posteriormente se calculó el esfuerzo de cizalla en Pa (τ) mediante la ecuación 10:

$$\tau = (\%T)(\text{Constante del cilindro}) \quad (10)$$

Donde: τ = Esfuerzo de cizalla
%T = porcentaje de torque

El valor de la constante del esfuerzo es de 195.5 mPa y está determinado por las dimensiones de la geometría utilizada (DIN145). Cada prueba se realizó por triplicado. Se determinó el comportamiento de los fluidos, a partir de las curvas de flujo obtenidas ajustadas al modelo de la potencia, ecuación 11:

$$\tau = k\dot{\gamma}^n \quad (11)$$

Donde : n índice de comportamiento al flujo (adimensional)
k índice de consistencia (Pa·sⁿ)

e) Análisis de Textura

El análisis textural se llevó a cabo en el texturómetro Texture Analyzer TA-TX2i (Stable Micro Systems, Inglaterra) bajo una prueba de penetración y retirada. La muestra se colocó en un recipiente cilíndrico (5 cm de diámetro interno y 1.3 cm de altura), con una cantidad de muestra de 30 ml de salsa, se utilizó un sensor cilíndrico de acrílico de 1 in de diámetro; el equipo se programó para detectar la superficie de la muestra con una fuerza de 5 g y penetrar a una distancia de 5mm para luego retirarse a una velocidad de 10 mm/s hasta una distancia de 35 mm. Después de que la prueba finalizó los parámetros texturales se obtuvieron a través del programa del equipo a partir de las curvas fuerza-distancia o distancia-tiempo. A esta prueba se le realizaron 5 réplicas.

De la curva fuerza-tiempo (Figura 8) se calcularon los parámetros texturales de:

- Trabajo de penetración: Mide el trabajo requerido para penetrar la muestra. Área A1 de la curva positiva.
- Dureza: Fuerza requerida para comprimir un alimento. Máximo de fuerza (B1)
- Fuerza adhesiva: Fuerza necesaria para la separación del dispositivo de la muestra (B2)
- Adhesividad: Trabajo requerido para retirar la muestra del dispositivo. Área de la curva negativa (A2)
- Estiramiento: Representa la distancia que la muestra se estira hasta que se despega completamente del dispositivo y se calcula con la distancia entre el inicio de la retirada del dispositivo y el punto en que la fuerza llega a cero o un valor constante (C1).

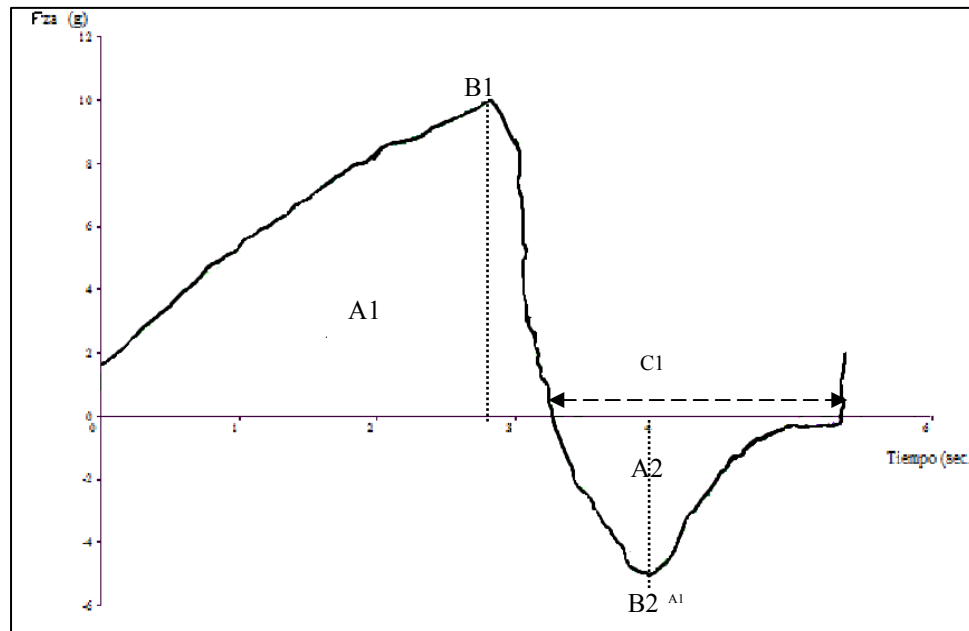


Figura 8. Curva fuerza-tiempo de textura

f) Análisis de Estabilidad

La estabilidad en la suspensión se estudió con el analizador óptico Turbiscan MA2000. La muestra (6 ml) se introdujo en una celda cilíndrica de vidrio la cual se analiza mediante un haz de luz emitida por un infrarrojo (880 nm longitud de onda) y dos detectores de luz, el detector de transmisión (180°) y el detector de retrodispersión (45°) que explora la columna

de vidrio. Se obtienen las señales de transmisión y retrodispersión de luz por parte de la muestra en toda la longitud del tubo. El procedimiento se repetía cada tercer día para obtener la curva de transmisión y retrodispersión en función del tiempo de almacenamiento y a partir de éstas se identificaron los fenómenos de sedimentación y clarificación en las curvas de retrodispersión; en la zona correspondiente a cada fenómeno, se obtuvieron las cinéticas (espesor de la zona en función del tiempo). Las cinéticas fueron obtenidas de los procesos de desestabilización identificados con ayuda del software del equipo.

g) Análisis estadístico

Las pruebas se realizaron por triplicado. Para el objetivo 2. Se realizó un diseño factorial utilizando el programa MINITAB®14 Release, teniendo tres variables independientes la temperatura (5, 25 y 40°C), la concentración de goma xantana (0.3 y 0.5%) y el tiempo de almacenamiento (1, 2, 3, y 4 semanas). Los resultados se analizaron mediante un Análisis de Varianza (ANOVA) empleando un modelo general lineal. Cuando arrojó diferencia significativa se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey utilizando un intervalo de confianza del 95% para determinar entre que niveles de las variables existió diferencia.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Análisis granulométrico de los chiles en polvo (chile de árbol y chile piquín).

Los datos de los Cuadros 3 y 4 se obtuvieron a partir de la serie de tamices Tyler, con los valores obtenidos se realizó la representación gráfica del análisis granulométrico que se observa en las figuras 9 y 10 del chile de árbol y piquín respectivamente.

Cuadro 3. Análisis por tamizado de una muestra de 100 g de chile de árbol

No. Malla	Abertura que pasa (in)	Abertura que retiene (in)	Fracción de masa retenida x_i	Masa retenida (g)	Diámetro promedio D_{pi} (in)	Fracción total retenida	Fracción total pasada
20/30	0.0328	0.0213	0.163	16.3	0.02705	0.163	0.837
30/40	0.0213	0.0145	0.385	38.5	0.0179	0.548	0.452
40/60	0.0145	0.0097	0.313	31.3	0.0121	0.861	0.139
60/charola	0.0097	0	0.015	1.5	4.85×10^{-3}	0.876	0.124

Cuadro 4. Análisis por tamizado de una muestra de 100 g chile piquín

No. Malla	Abertura que pasa (in)	Abertura que retiene (in)	Fracción de masa retenida x_i	Masa retenida (g)	Diámetro promedio D_{pi} (in)	Fracción total retenida	Fracción total pasada
20/30	0.0328	0.0213	0.059	5.9	0.02705	0.059	0.941
30/40	0.0213	0.0145	0.485	48.5	0.0179	0.544	0.456
40/60	0.0145	0.0097	0.433	43.3	0.0121	0.977	0.023
60/charola	0.0097	0	0.004	0.4	4.85×10^{-3}	0.981	0.019

De acuerdo al estudio de salsas comerciales que realizaron Martínez y Rivera (2004) las salsas catalogadas como homogéneas presentan partículas finas menores a 0.039 in uniformemente distribuidos sobre toda la suspensión. En los diagramas diferenciales se observa la distribución por fracciones que tuvieron ambas muestras; observándose gran parte de muestra de los chiles en los rangos de 0.0179 y 0.0121 in de diámetro promedio, mientras que en el diagrama acumulativo se observa en ambos casos que para el 80% de población se asigna el diámetro 0.02 in se utilizó un tamaño de partícula que pase por un

tamiz No. 30 de la serie Tyler para la elaboración de la salsa picante tipo botanera y como se observa el tamaño es adecuado para este tipo de producto.

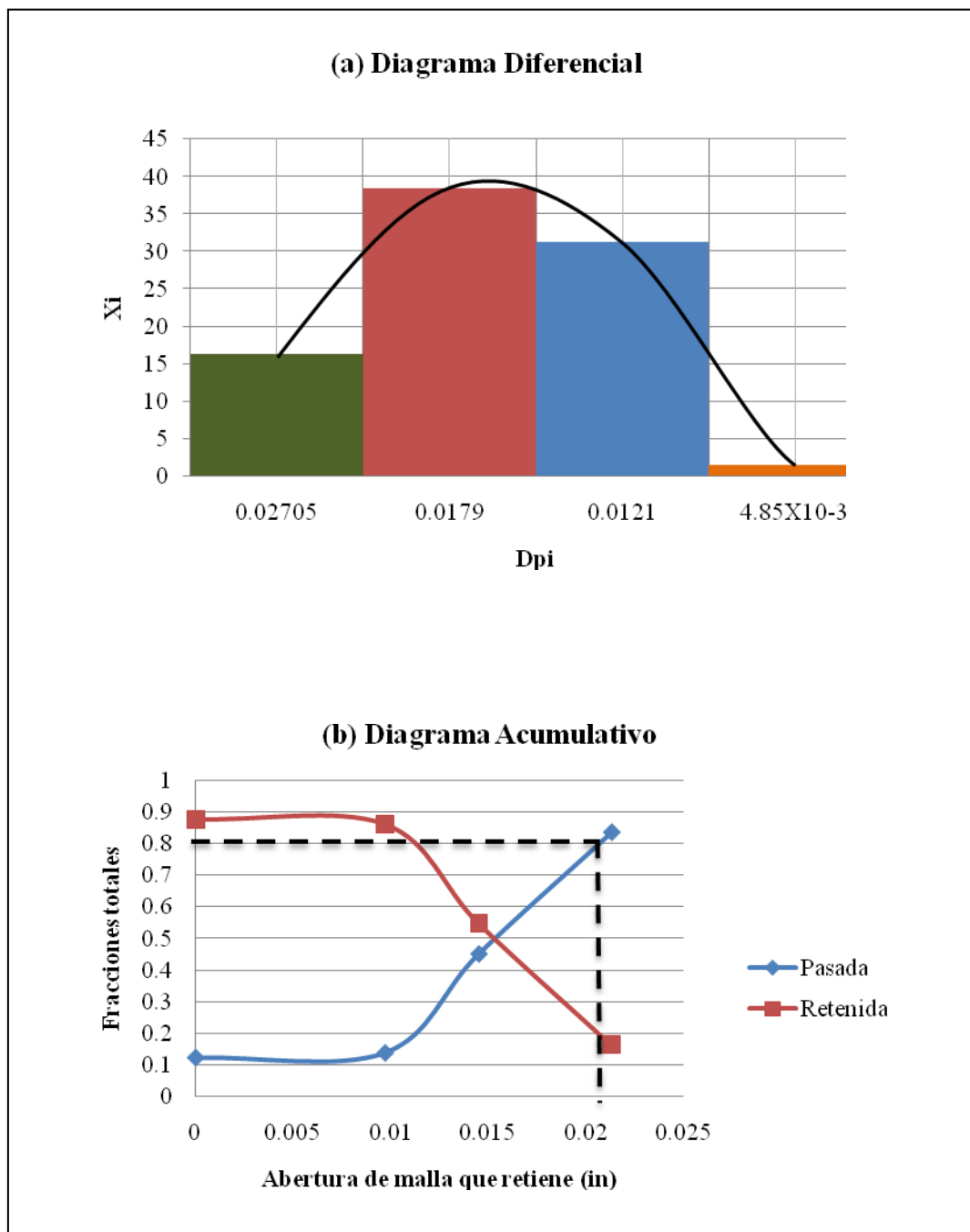


Figura 9. Tamizado de una muestra de chile de árbol (a) diagrama diferencial y (b) diagrama acumulativo

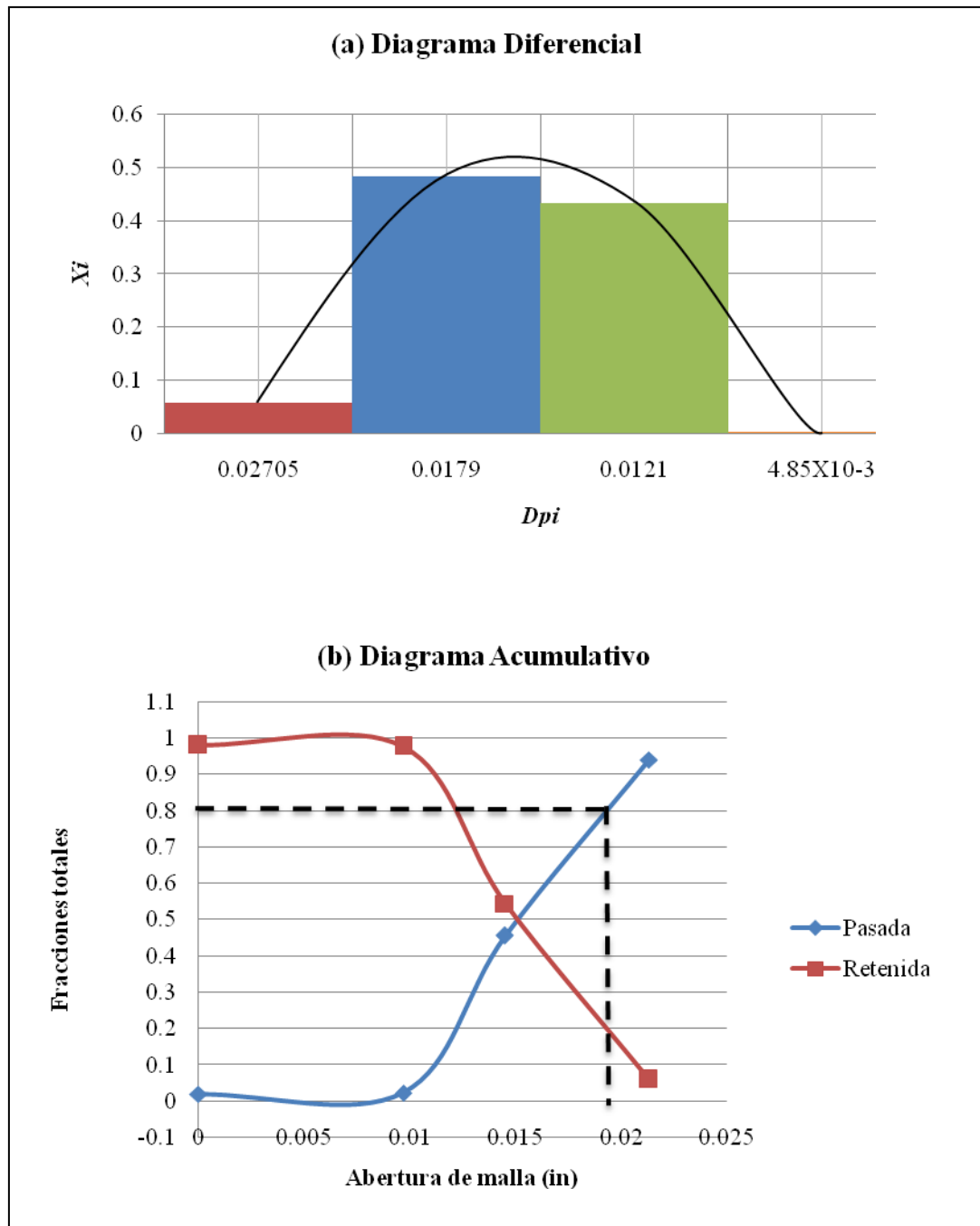


Figura 10. Tamizado de una muestra de chile piquín (a) diagrama diferencial y (b) diagrama acumulativo.

3.2. Selección de la formulación a emplear.

Partiendo de las formulaciones del Cuadro 2, se realizaron varios ensayos donde se obtuvo la formulación de una salsa picante tipo botanera a partir de sus características de sabor y pungencia seleccionados por el investigador, la cual se reporta en el Cuadro 5.

Cuadro 5. Formulación base obtenida

Ingredientes	Formulación (%)
Agua	71.44
Vinagre	10.81
Chile de árbol	1.11
Chile piquín	13.03
Ácido cítrico	0.31
Jengibre	0.31
Benzoato de sodio	0.1
Canela	0.15
Azúcar	2.7

3.3. Ensayo de técnicas con salsas comerciales

Se realizaron pruebas físicas, texturales, reológicas y de estabilidad de las salsas comerciales. Estas determinaciones se realizaron con el procedimiento descrito en el apartado 2.4.5.

Propiedades físicas

Los resultados de densidad, pH y color se presentan en el cuadro 6.

Cuadro 6. Propiedades fisicoquímicas de la salsa comercial

Salsa	$\rho_{relativa}$	pH	Color		
			L (luminosidad)	+a (rojo)	+b (amarillo)
Botanera	1.060	3.26	28.73	22.92	24.61
Valentina	1.050	3.52	31.91	23.31	30.57
Promedio	1.055	3.390	30.320	23.115	27.590
Desv_est	0.007	0.184	2.249	0.276	4.214
Coef_Var	0.007	0.054	0.074	0.012	0.153

La densidad es mayor para la salsa comercial Botanera que contiene goma xantana, aunque la diferencia de los datos no es significativo. El valor de pH es parecido, el cual se consideró al realizar la salsa para obtener valores similares. En color se observa que ambos entran en el rango de rojo-amarillo aunque la salsa Botanera mostró ser menos luminosa (L); en cuanto a la cromaticidad el valor de +a (rojo) es muy cercano en ambas salsas, sin

embargo la Valentina tiene mayor valor de +b (amarillo) esto se puede deber a los colorantes que reporta la salsa Botanera.

Textura

El análisis de textura facilita el desarrollo de nuevos productos, en base a los productos básicos, aceptados tradicionalmente por el consumidor en cuanto a su textura, por esta razón, en el Cuadro 7 se muestran los resultados del análisis de perfil de textura de dos salsas comerciales. Se observa que los datos obtenidos de los parámetros de textura medidos de las salsas Botanera y Valentina son similares, excepto en el estiramiento lo cual se puede deber a la diferencia de ingredientes que contiene cada muestra de salsa, debido a que la salsa Botanera reporta goma xantana en su etiqueta y la salsa Valentina no reporta estabilizantes.

Cuadro 7. Parámetros de prueba de textura de las salsas comerciales a temperatura ambiente

Salsa	Trabajo de Penetración (g·s)	Dureza (g)	Fuerza adhesiva (g)	Adhesividad (g·s)	Estiramiento (mm)
Botanera	14.32	8.11	-3.95	-2.54	12.95
Valentina	13.75	7.52	-3.71	-2.35	15.79

Comportamiento al flujo

En el cuadro 8 se presentan los parámetros reológicos de las salsas comerciales, a partir de los valores de n y K. La salsa Botanera y Valentina presentan un comportamiento parecido, además de que el coeficiente de determinación (R^2) es aceptable; sirviendo de base para establecer la cantidad de goma a emplear y obtener una salsa picante tipo botanera con características comerciales.

Cuadro 8. Parámetros reológicos de las salsas comerciales

Salsa comercial	Ascenso			Descenso		
	K (Pa·s ⁿ)	n	R ²	K (Pa·s ⁿ)	N	R ²
Botanera	1.52	0.41	0.987	1.46	0.43	0.994
Valentina	1.49	0.42	0.986	1.09	0.46	0.997

En la figura 11 se observa la tendencia de las curvas de ascenso y descenso que sigue la ley de la potencia, mostrando un comportamiento no newtoniano adelgazante a la cizalla e histéresis en la salsa Valentina, con la curva de ascenso por arriba de la de descenso, lo que indica cambios pequeños en la estructura de la salsa con el esfuerzo de corte aplicado. Los resultados reportados por Carrillo (1998), Martínez y Rivera (2004) en la salsa comercial Valentina, muestran que este tipo de producto siguen la ley de la potencia y encontraron también histéresis tipo tixotropía. Martínez y Rivera (2004) atribuyen la diferencia entre las curvas a la interferencia de las partículas en el pequeño espacio del cilindro.

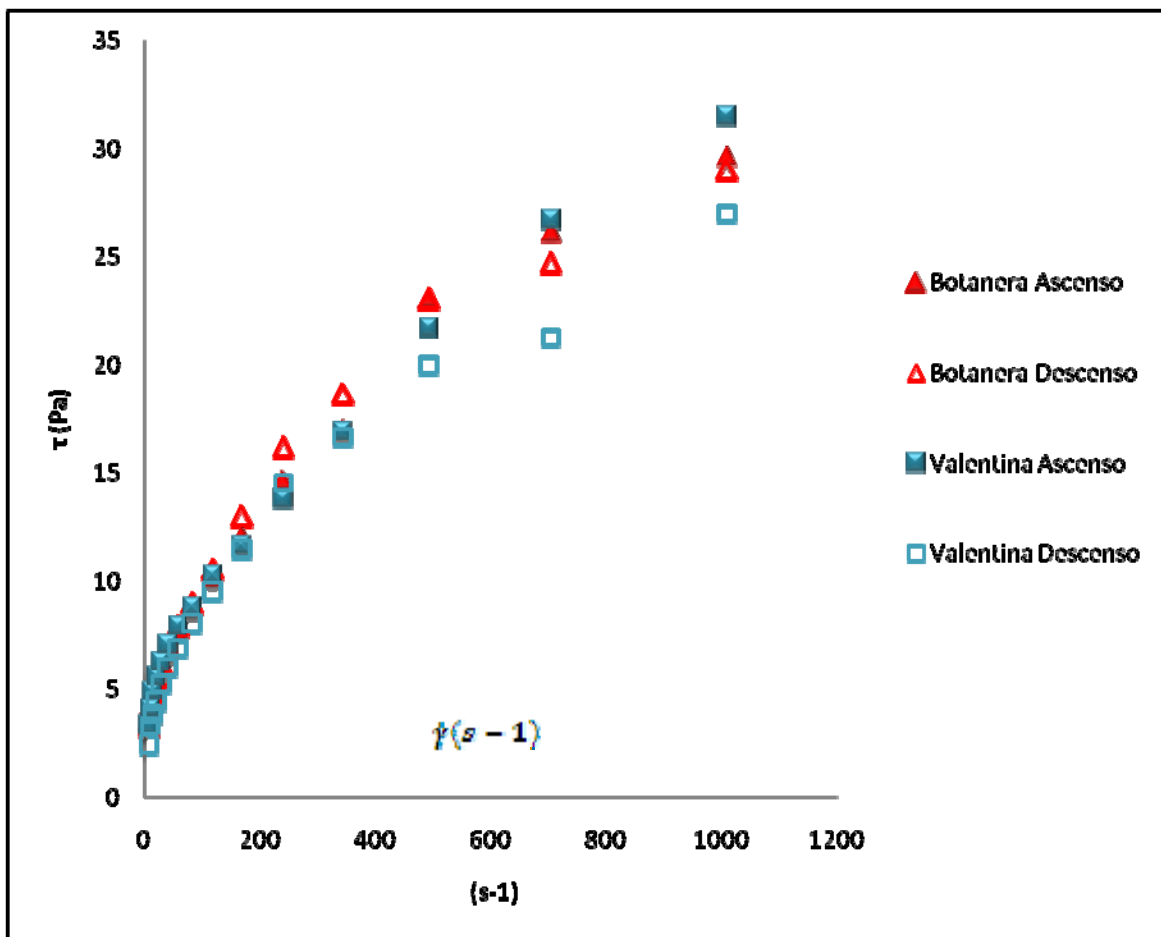


Figura 11. Curva de flujo de las salsas comerciales a 25°C.

Estabilidad

En esta prueba solo se utilizó la salsa comercial Botanera ya que ésta reporta el empleo de goma xantana. En la Figura 12 se presenta la lectura del tubo con muestra de salsa, donde

se indica el límite de esta mediante líneas rojas, solo se graficó la retrodispersión, debido a que no hubo clarificado, por lo tanto resultó innecesario el gráfico de transmisión, el resultado fue una muestra estable, ya que el perfil de retrodispersión tuvo muy poca variación en 13 días, es decir, el movimiento de las partículas fue mínimo y lento, por lo que el sensor arrojó lecturas similares, pudiendo decirse que la salsa en este periodo de tiempo es estable.

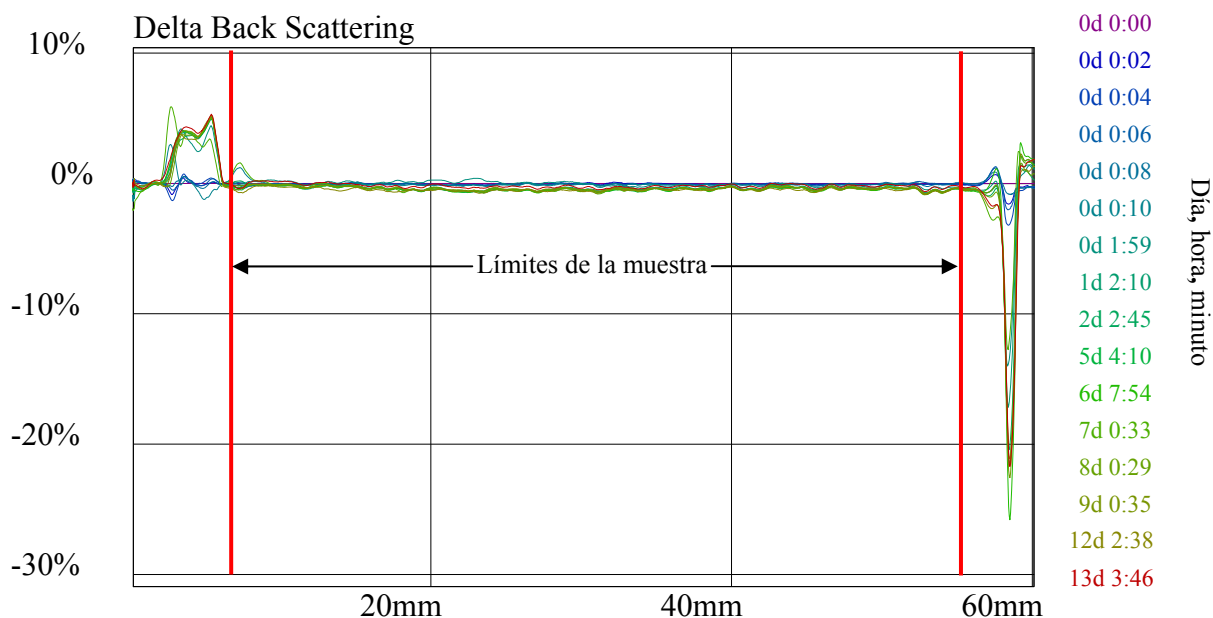


Figura 12. Intensidad de retrodispersión en modo de referencia a diferentes tiempos, referidos a la primera medida de la salsa comercial Botanera a 25°C.

3.4. Adición de goma a la formulación base.

Propiedades fisicoquímicas

En el Cuadro 9 se observan las propiedades fisicoquímicas de la salsa picante tipo botanera a temperatura ambiente con goma xantana a diferentes concentraciones. Se observa que la densidad aumenta conforme se aumenta la concentración de goma. El pH de las salsas formuladas se encuentra dentro del intervalo establecido por la *NMX-F-377-1986* por tanto se asemeja al que deben cumplir las salsas comerciales.

La Figura 7 fue utilizada para determinar el color a partir de los parámetros L, a, b; de acuerdo al modelo CIELAB el cual se usa para medir objetos reflectivos como lo es la salsa. De las mediciones de color se registraron los datos de L, a y b que se presentan en el Cuadro 9, la luminosidad tiene un valor de 100 para el blanco y de 0 para el negro y la cromaticidad +a indica rojo y +b amarillo. En las mediciones de color los valores de L son similares por lo que no hay gran variación en los valores obtenidos. Respecto al tono se observa que los valores de a y b se mantienen en la zona de amarillo-rojo, aunque en las concentraciones de 0.2% y 0.4% tienden más hacia el rojo; las salsas con goma xantana de 0.3% y 0.5% obtuvieron resultados más próximos a las salsas comerciales.

Cuadro 9. Propiedades fisicoquímicas de la formulación base con goma xantana a 25°C.

Xantana (%)	$\rho_{relativa}$	pH	Color		
			L	+a	+b
0.2	1.073	3.40	32.16	26.00	30.54
0.3	1.081	3.19	33.96	25.83	32.03
0.4	1.085	3.40	34.18	26.88	32.11
0.5	1.091	3.19	33.99	25.71	31.12

Textura

En la Figura 13 se muestran las curvas fuerza en función del tiempo de las salsas comerciales y las diferentes formulaciones estudiadas. Mediante el análisis de las curvas obtenidas, se compararon las diferentes texturas relacionando el comportamiento con la concentración de goma utilizada en la elaboración de la salsa. Se seleccionaron aquellas gráficas representativas que se aproximaban a los resultados promedio obtenidos en el Cuadro 10. Se muestra que las curvas están por debajo 17.15% aproximadamente (0.2% de goma xantana) y arriba 16.90% de fuerza (0.4 y 0.5% de goma xantana) de las salsas comerciales.

El análisis textural proporcionó información sobre la estructura del producto y sus cambios por la fuerza aplicada. Se observa en el cuadro 10 que los parámetros texturales (trabajo de penetración, dureza, fuerza adhesiva, adhesividad), aumentan al aumentar la concentración de goma xantana. La formulación de salsa con concentración de 0.3% de goma xantana es

la que presenta mayor similitud en los resultados obtenidos con la salsa comercial (Figura 13).

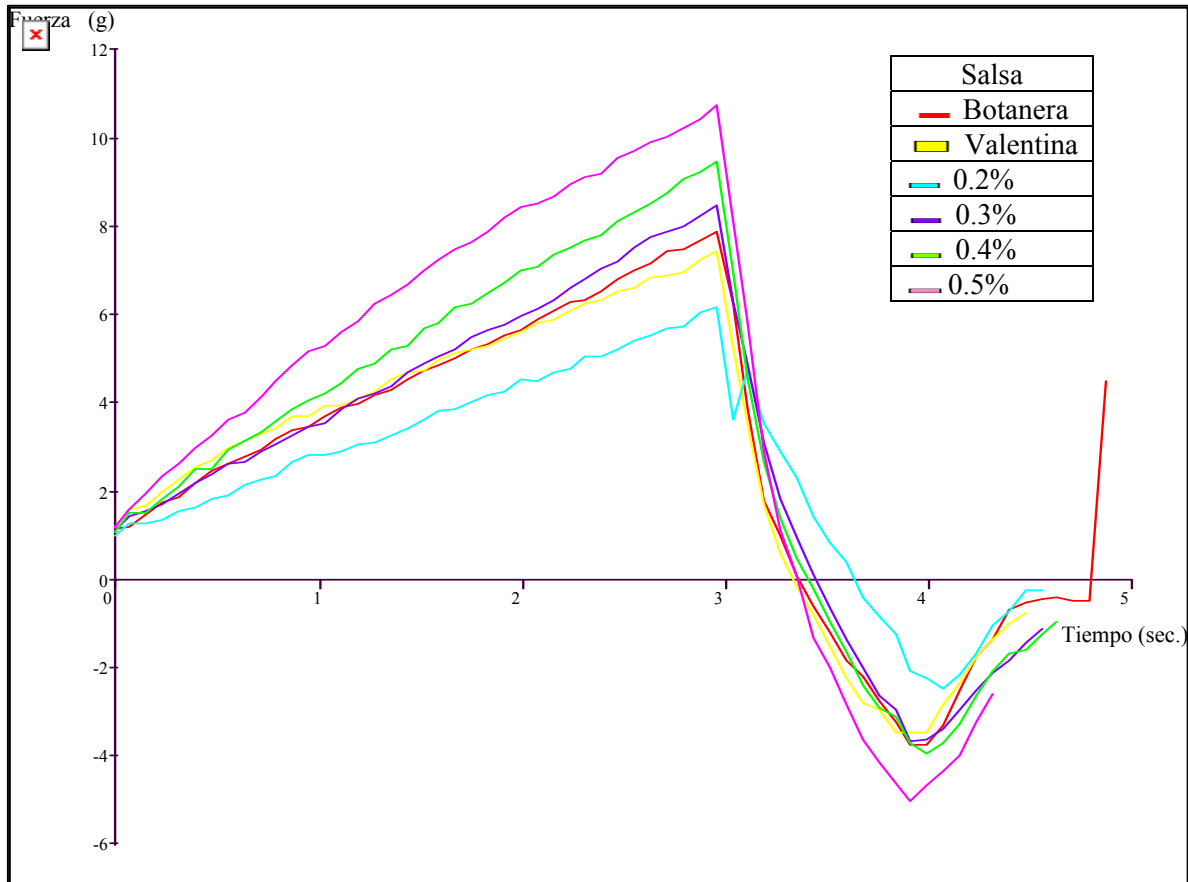


Figura 13. Diagrama fuerza tiempo de la salsas comerciales y la formulación base con goma xantana a diferentes concentraciones a 25°C

La salsa con concentración de 0.5% de goma xantana presenta valores altos, mientras que con 0.2% la curva y los valores se encuentran por debajo de las salsas comerciales. Se puede decir con los resultados obtenidos de las pruebas en el texturómetro, que la formulación con mayor cantidad de goma xantana fue la que mostró mayor trabajo de penetración, dureza, fuerza adhesiva y adhesividad debido a la alta capacidad de retención de agua, así como de formar soluciones viscosas.

Cuadro 10. Propiedades de textura de la salsa comercial y la formulación base con goma xantana a 25°C

Salsa	Trabajo de penetración (g.s)	Dureza (g)	Fuerza adhesiva (g)	Adhesividad (g.s)	Estiramiento (mm)
Botanera	14.32	8.11	-3.95	-2.54	12.95
Valentina	13.75	7.52	-3.71	-2.35	15.79
0.2%	10.93	6.47	-2.61	-0.02	14.37
0.3%	14.01	8.3	-3.77	-2.38	10.9
0.4%	15.81	9.13	-4.12	-2.89	11.64
0.5%	18.75	10.3	-4.96	-3.1	9.25

De los datos anteriores se puede decir que la formulación base con concentración de 0.3% da los parámetros texturales más cercanos a las salsas comerciales.

Comportamiento al flujo

En la Figura 14 se muestra el comportamiento del esfuerzo de cizalla en función de la velocidad de cizalla para la formulación base con goma xantana (0.2, 0.3, 0.4 y 0.5%) y CMC (0.5%) a temperatura ambiente. La CMC se empleó sólo a la concentración de 0.5% debido a que con las concentraciones menores había sedimentación en un intervalo de tiempo corto (menor a 20 minutos). La curva con 0.2% de xantana está por debajo y la de 0.5% por arriba de las demás concentraciones de xantana y CMC.

En las salsas con CMC y 0.5% de xantana la curva de ascenso está por arriba del descenso indicando tixotropía. La salsa con 0.2% de xantana parece indicar un comportamiento casi newtoniano; mientras que con 0.3 y 0.4 % muestran un comportamiento adelgazante a la cizalla.

Sikora y col. (2007) describen un comportamiento adelgazante a la cizalla con salsas para postres en las que utiliza dos tipos de goma, almidón y xantana.

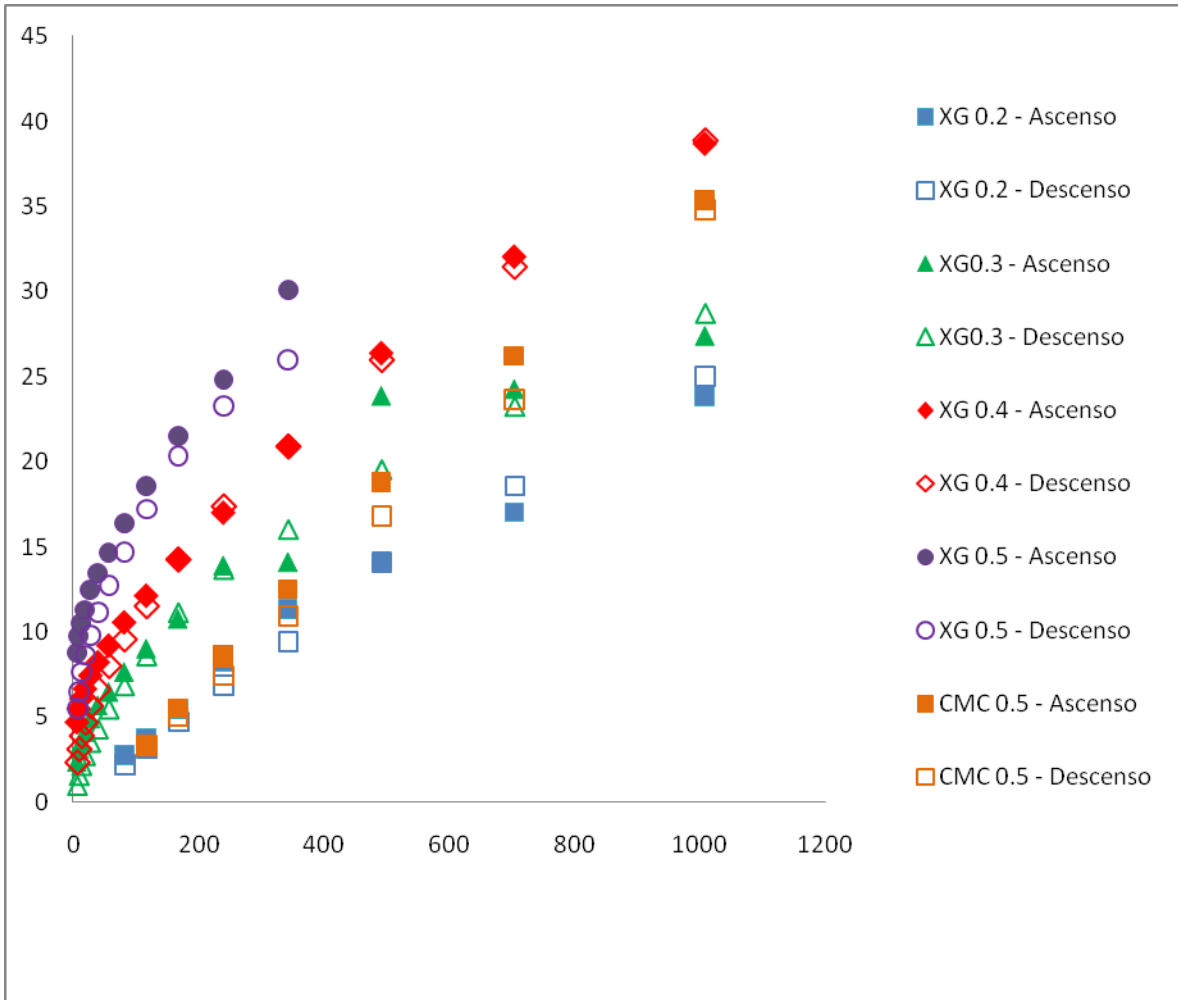


Figura 14. Curva de flujo de la formulación base con goma a 25°C.

El índice de comportamiento n , informó sobre la desviación del flujo newtoniano, en el que el parámetro de índice de comportamiento de todas las salsas fue inferior a 1 lo cual señala que las salsas son adelgazantes a la cizalla se observa histéresis en las salsas con xantana lo cual indica cambios pequeños en la estructura con el esfuerzo cortante, es decir, pierden su resistencia al someterse a cizalla.

Los datos que describen al modelo reológico se muestran en el Cuadro 11; la influencia de la concentración de goma xantana se observa principalmente en el índice de consistencia (K); al disminuir la concentración de goma xantana en la salsa, disminuye el índice de consistencia y aumenta el índice de comportamiento (n). Este comportamiento se debe a

que la xantana es utilizada como espesante por lo que al aumentar la concentración de xantana se incrementa el índice de consistencia y es más adelgazante a la cizalla.

A la concentración de 0.2% de xantana el índice de comportamiento está muy cerca de la unidad debido a que la concentración de goma es baja por lo que su propiedad de espesar es menor. A 0.3% y 0.4% de xantana n y K son las que más se asemejaban a las salsas comerciales. Por tanto estas concentraciones producen una consistencia adecuada.

Cuadro 11. Constantes reológicas del modelo de la potencia de la formulación base con goma xantana y CMC a 25°C

Constantes Reológicas						
Salsa	Ascenso			Descenso		
	K (Pa sⁿ)	n	R²	K (Pa sⁿ)	n	R²
CMC 0.5%	0.0198	1.10	0.993	0.019	1.09	0.999
Xantana 0.2%	0.0661	0.86	0.988	0.0294	0.98	0.997
Xantana 0.3%	0.9572	0.48	0.989	0.383	0.64	0.990
Xantana 0.4%	1.9421	0.41	0.979	0.9987	0.54	0.999
Xantana 0.5%	4.6205	0.31	0.982	2.7381	0.38	0.998

En la salsa que contiene CMC se observa que el índice de comportamiento es ligeramente mayor a la unidad (Ver cuadro 11), mostrando ligero espesamiento a la cizalla; esto debido a que se vio afectado por el de pH por lo que brindó baja viscosidad a la suspensión, provocando la precipitación acelerada de las partículas (*Imeson, 1997*) y la probable centrifugación de los sólidos en el cilindro al ser cizallada la muestra.

Estabilidad

El Turbidímetro marca Turbiscan, modelo MA 2000 permite detectar los fenómenos de desestabilización en una etapa muy temprana de la vida de la dispersión (*Mengual, 1999*). La Figura 15 muestra las curvas de retrodispersión en modo de referencia de la formulación

base; en esta suspensión no se adicionó goma por lo que la desestabilización fue rápida por tal motivo solo se le dio 10 exploraciones durante tres minutos, esto para una mejor ejemplificación de la separación de fases ya que ésta ocurrió en un periodo de tiempo corto.

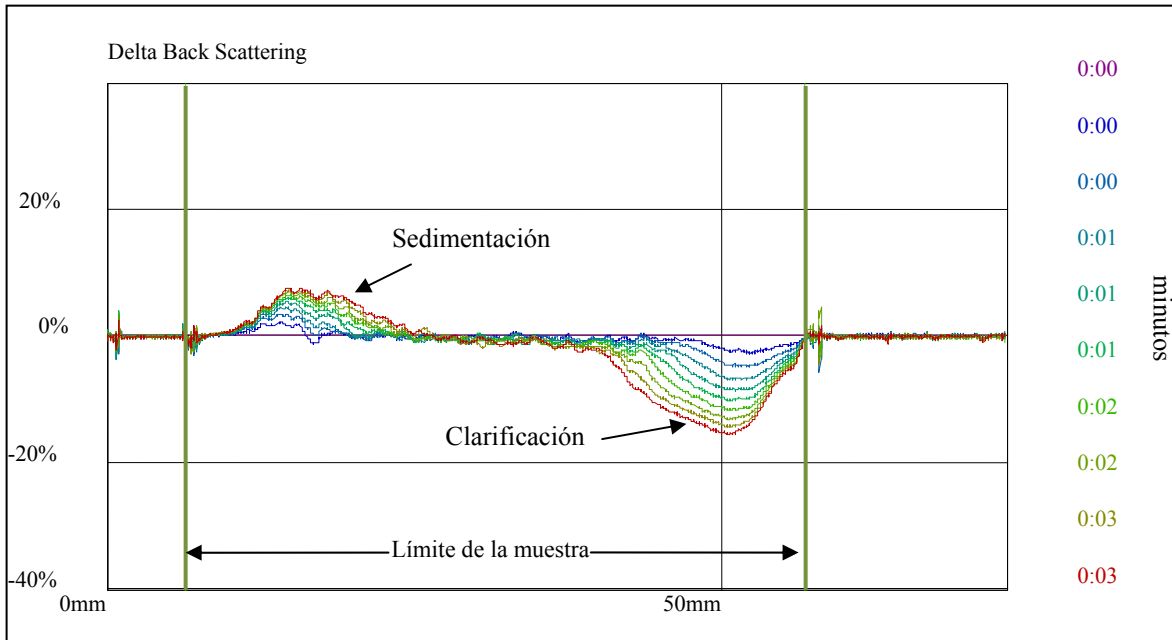


Figura 15. Intensidad de retrodispersión a diferentes tiempos, referidos a la primera medida de la salsa picante sin empleo de goma a 25°C.

El eje vertical representa la reflectancia difusa (en %) normalizado con respecto a la no absorción del reflector estándar y el eje horizontal representa la altura en mm de la muestra. En esta curva los fenómenos de sedimentación y clarificación se identificaron de la siguiente manera: la clarificación se observa en la curva al presentar una caída de retrodispersión en la parte superior del tubo que se va desplazando y haciendo más ancho conforme transcurre el tiempo y la sedimentación se ve en el aumento de la retrodispersión en la parte inferior del tubo; esto se debe a que las partículas migran desde la cima hasta el fondo de la muestra. Esta muestra se revisó inmediatamente después de prepararse, desestabilizándose en menos de tres minutos, por lo cual fue necesaria la aplicación de goma en este tipo de productos.

Aunque se trabajó con la concentración más alta que se tenía planeada de CMC (0.5%) (Figura 16), la muestra se desestabilizó rápidamente. Se puede observar que la clarificación en la parte superior de la muestra ya es notable desde el inicio; además, en la última medida (curva roja) se observa que las partículas se encuentran en el fondo de la muestra casi en su totalidad. Esto debido a que las soluciones de CMC sometidas a un pH menor a 4.0 tienden a precipitar (*Stephen y col., 2006*) y por tanto no incrementa la viscosidad de la fase continua y no estabiliza la suspensión.

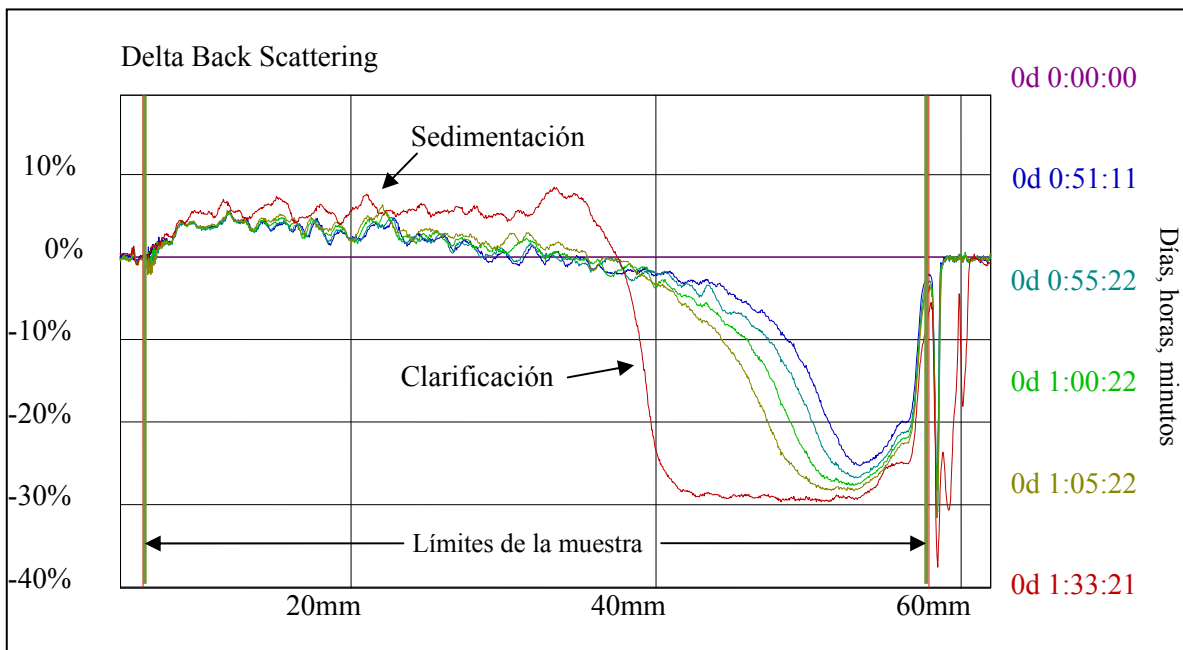


Figura 16. Intensidad de retrodispersión a diferentes tiempos, referidos a la primera medida de la salsa picante con 0.5% de goma CMC a 25°C

En las gráficas (Figura 17-20) podemos observar que la estabilidad depende de la concentración de xantana. La xantana a concentraciones bajas en este tipo de salsa, no es conveniente ya que no aporta la estabilidad deseada para un producto comercial como éste. En la Figura 17 se observa que a la concentración de 0.2% se desestabiliza muy rápido (en 22 horas). A partir de la concentración de 0.3% (Figura 18) el cambio en la estabilidad es notorio debido a que hasta los 13.5 días (324 min) se inicia en las últimas mediciones el clarificado y la sedimentación. Se observa en la Figura 19 y 20 que la mayor parte de la

suspensión se mantuvo estable en ambas concentraciones, sin embargo, se observa un mínimo de clarificación, aunque no se percibe sedimentación.

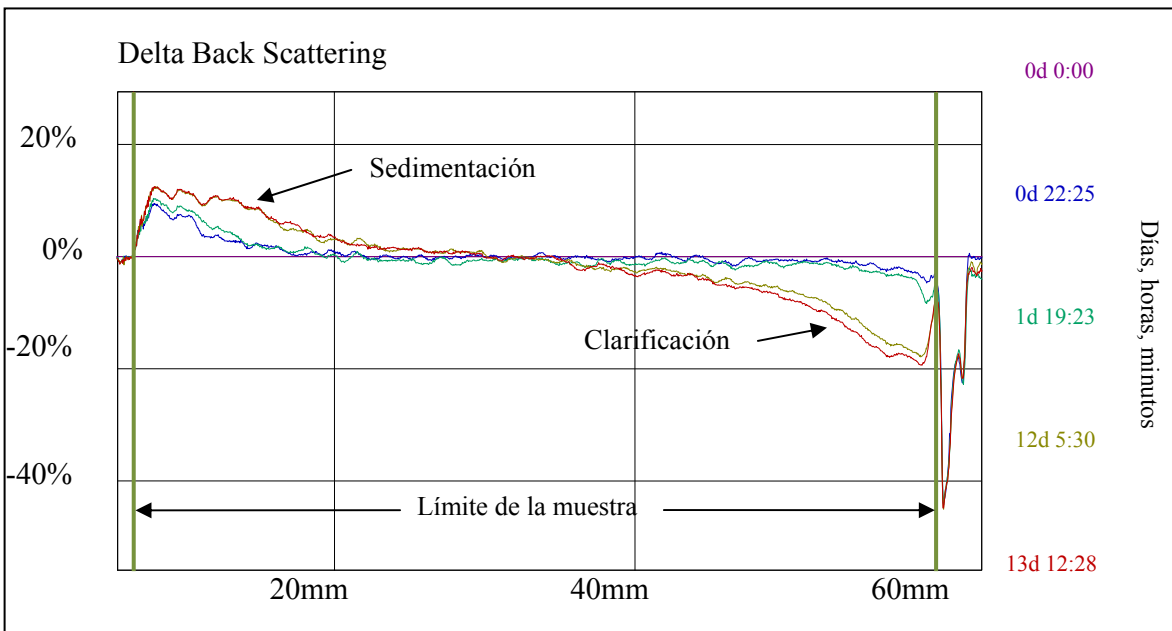


Figura 17. Intensidad de retrodispersión a diferentes tiempos, referidos a la primera medida de la salsa picante con 0.2% de goma xantana a 25°C

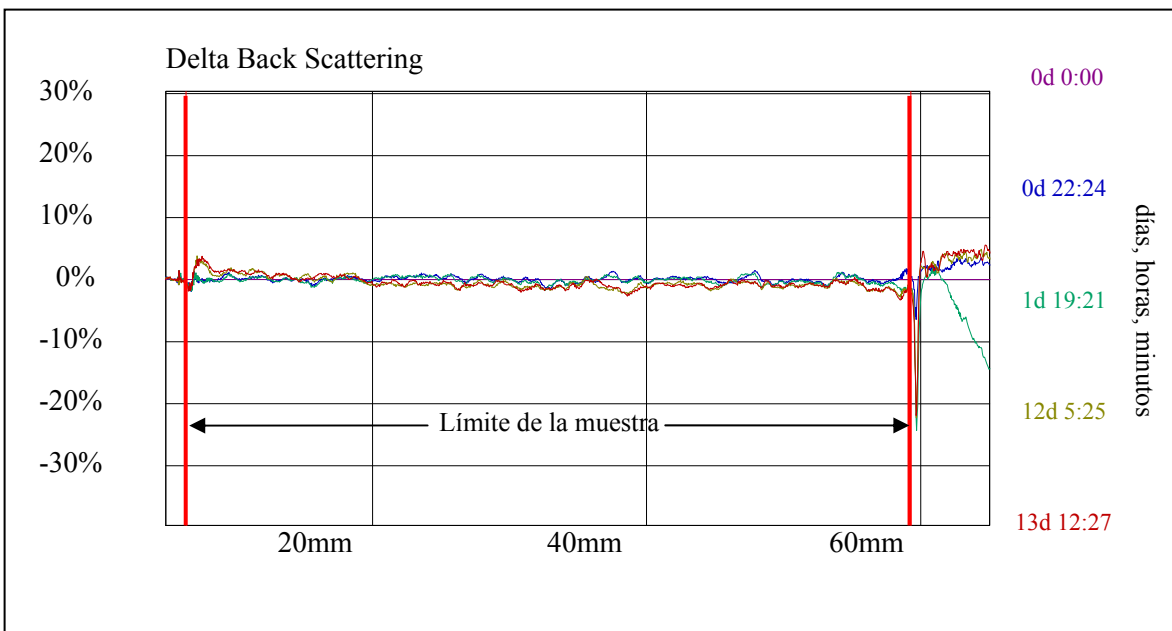


Figura 18. Intensidad de retrodispersión a diferentes tiempos, referidos a la primera medida de la salsa picante con 0.3% de goma xantana a 25°C.

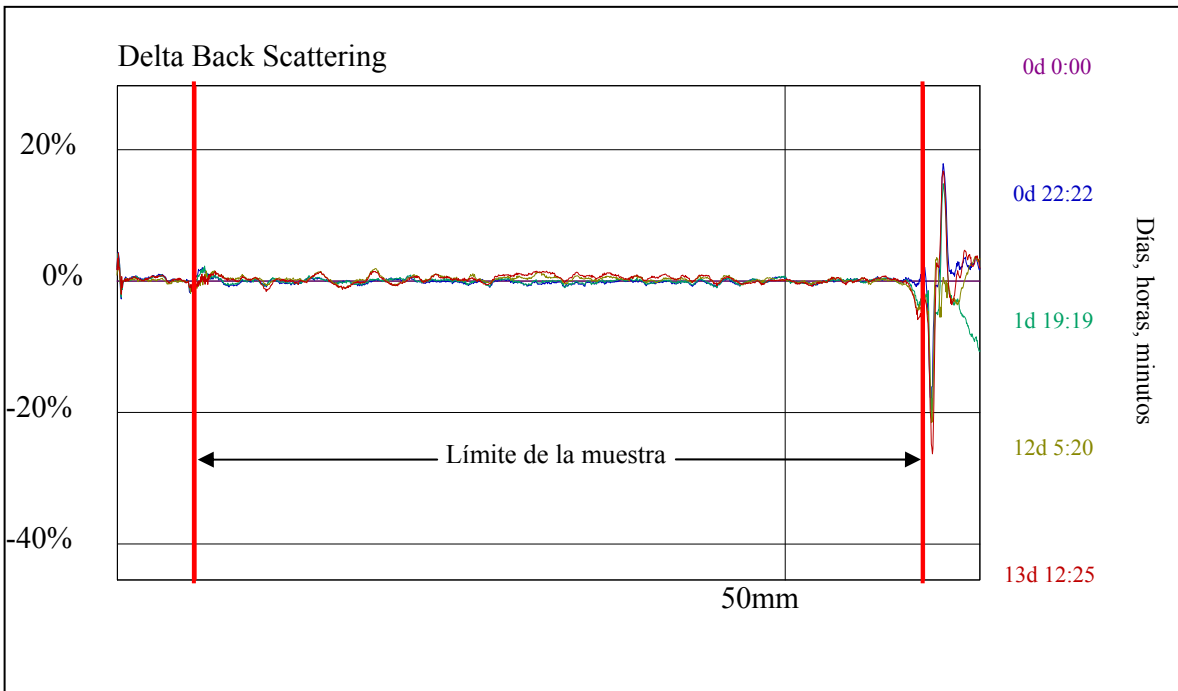
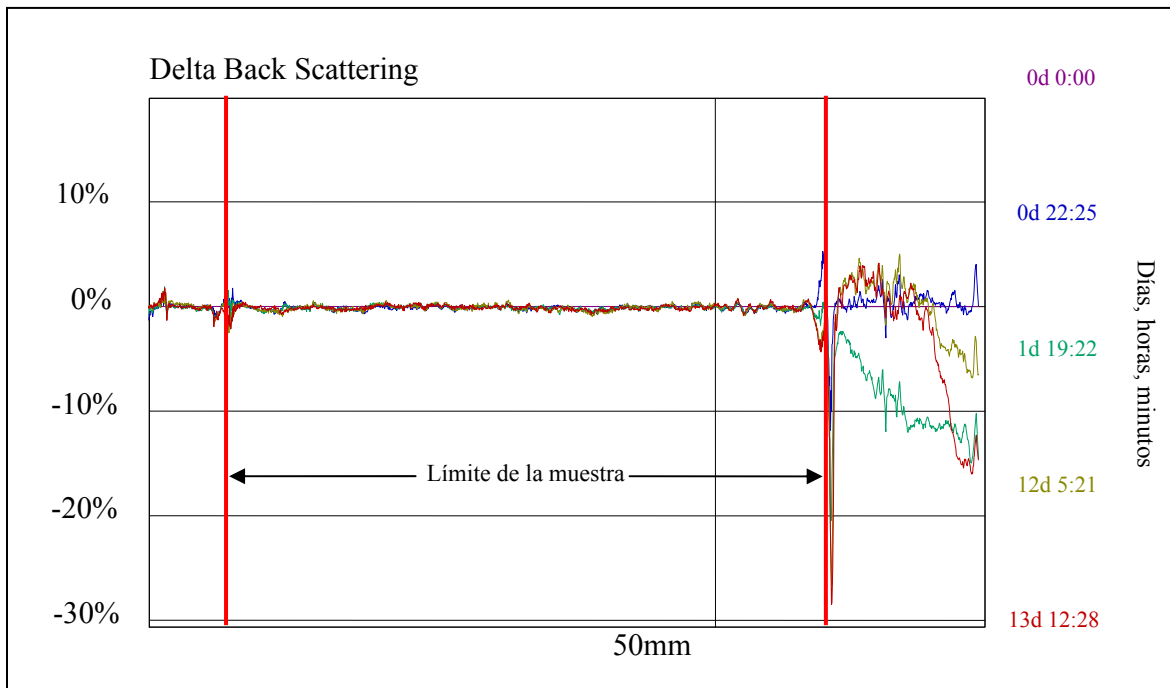


Figura 19. Intensidad de retrodispersión a diferentes tiempos, referidos a la primera medida de la salsa picante con 0.4% de goma xantana a 25°C



Figural 20. Intensidad de retrodispersión a diferentes tiempos, referidos a la primera medida de la salsa picante con 0.5% de goma xantana a 25°C

3.5. Evaluación de la influencia de la temperatura, tiempo y concentración de xantana sobre los parámetros reológicos, físicos y estabilidad.

Se seleccionaron las concentraciones de xantana a 0.3% y 0.5% ya que en textura la concentración de 0.5% fue la que mostró datos más elevados de consistencia y mejor estabilidad en el equipo de turbiscan y 0.3% presenta valores más parecidos a la salsa comercial en textura y comportamiento al flujo.

Se realizaron las pruebas fisicoquímicas, texturales, reológicas y de estabilidad de la salsa picante tipo botanera con concentración de goma xantana de 0.3 y 0.5%, durante cinco semanas realizando las pruebas reológicas y físicas una vez por semana y para las pruebas de estabilidad se hicieron dos escaneos por semana a las muestras almacenadas a 5, 25 y 40°C.

Propiedades fisicoquímicas

Densidad

El Cuadro 12 muestra la densidad de la salsa antes y después de ser almacenada (primera y quinta semana).

Cuadro 12. Densidad de la salsa picante tipo botanera a las concentraciones de 0.3% y 0.5% a distintas temperaturas.

Densidad (ρ)				
Temperatura (°C)	0.3%		0.5%	
	Inicial (g/ml)	Final (g/ml)	Inicial (g/ml)	Final (g/ml)
5	1.119	1.086	1.102	1.088
25	1.097	1.084	1.083	1.073
40	1.124	1.082	1.142	1.090
Promedio	1.099		1.096	
Coefficiente de Variación	1.7%		2.2%	

Se observa que las densidades son similares entre las muestras además de que la variación no fue tan notable durante las 4 semanas de estudio, por lo que este parámetro no fue afectado por la temperatura y tiempo de almacenamiento.

pH

El valor de pH de la salsa picante tipo botanera a diferentes concentraciones de goma xantana y distintas temperaturas se presentan en el Cuadro 13.

Cuadro 13. pH de la salsa picante tipo botanera a las concentraciones de 0.3% y 0.5% de xantana a distintas temperaturas y semanas de almacenamiento.

Semana	Temperatura (°C)	Concentración de xantana (%)	pH
1	5	0.3	3.26
		0.5	3.36
	25	0.3	3.27
		0.5	3.31
	40	0.3	3.27
		0.5	3.31
2	5	0.3	3.33
		0.5	3.35
	25	0.3	3.34
		0.5	3.36
	40	0.3	3.34
		0.5	3.33
3	5	0.3	3.57
		0.5	3.53
	25	0.3	3.53
		0.5	3.57
	40	0.3	3.53
		0.5	3.52
4	5	0.3	3.40
		0.5	3.41
	25	0.3	3.37
		0.5	3.45
	40	0.3	3.38
		0.5	3.41
Promedio			3.395
Coefficiente de Variación			2.80

El pH de las muestras se midió solamente como un control para verificar que se encontrara dentro del intervalo referido en la norma, durante su almacenamiento. Se observa una variación cada semana, en el que muestra un aumento en éste, aunque el cambio, no es significativo.

Color

En el anexo 1 se muestran las variaciones de color obtenidas a lo largo de la experimentación de la salsa picante tipo botanera a dos concentraciones de xantana (0.3 y 0.5%) almacenadas a diferentes temperaturas (5, 25 y 40°C). En el Cuadro 14 se muestran los valores promedio obtenidos en el análisis de varianza por efecto de la concentración de goma, el tiempo y la temperatura. Se observa que la concentración de goma xantana afecta significativamente debido a que la salsa con concentración de 0.3%, presenta menos luminosidad, siendo ésta más oscura.

Cuadro 14. Comparación de variables en el color (matiz) de una salsa tipo botanera.

Concentración de xantana	L	Matiz b/a
0.3	34.73 ^a	1.303 ^a
0.5	34.92 ^b	1.292 ^a
Temperatura (°C)		
5	35.02 ^a	1.257 ^a
25	34.99 ^a	1.261 ^a
40	34.47 ^b	1.375 ^b
tiempo (semana)		
1	34.42 ^a	1.260 ^a
2	34.85 ^b	1.274 ^a
3	34.54 ^a	1.308 ^b
4	35.49 ^c	1.348 ^c

*Los valores con el mismo superíndice son estadísticamente iguales con $\alpha=0.05$ al realizar la prueba de Tukey

La temperatura influye significativamente solo a 40°C observándose una disminución en la luminosidad en esta temperatura. También se observa la influencia del tiempo ya que la luminosidad es diferente estadísticamente en el transcurso de las semanas, observándose

cambios en los valores de la luminosidad. Una manera de relacionar el croma (a y b) es mediante el matiz (a/b) que se define en este caso en términos de amarillo y rojo. Estadísticamente el matiz (ver Cuadro 14) no tuvo diferencia cuando se varía la concentración. Sin embargo hay un cambio con el aumento de la temperatura a 40°C y a tiempos prolongados observándose una variación significativa en la tonalidad, con tendencia a aumentar el predominio del rojo.

Textura

En las Figuras 21, 22 y 23 se observan los efectos de la concentración de goma xantana, tiempo de almacenamiento y de la temperatura (5, 25 y 40°C) sobre la textura de la salsa. Los resultados presentados implican cambios en el trabajo de penetración, dureza, fuerza adhesiva, adhesividad y estiramiento.

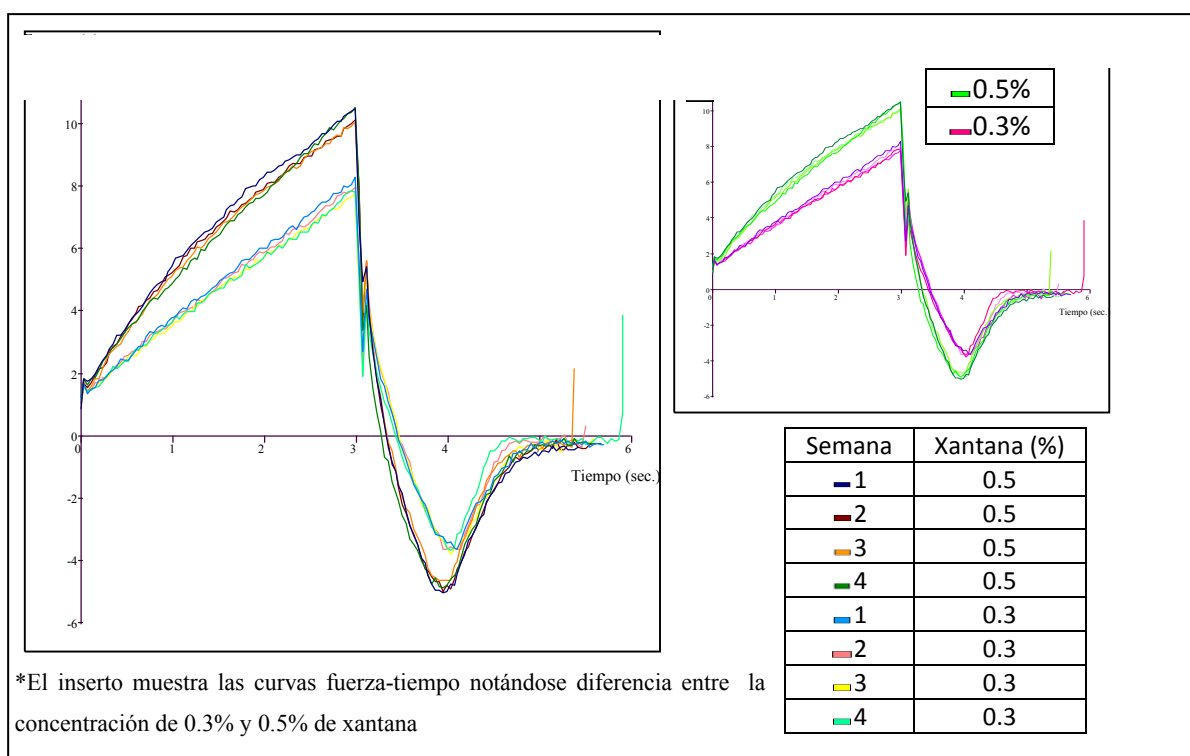


Figura 21. Diagrama fuerza tiempo de la salsa picante tipo botanera a las concentraciones de 0.3% y 0.5% de xantana con temperatura de 5°C.

Se puede ver en el inserto de la Figura 21 que a 5°C a la concentración de 0.5% se obtuvieron picos más altos que a 0.3%; manteniendo una marcada diferencia entre la

concentración de 0.3% y 0.5% de xantana. Conforme transcurre el tiempo de almacenamiento los picos en ambas concentraciones decrecen un poco.

En la Figura 22 a 25°C se observa que a la concentración de 0.5% disminuyen notablemente los picos de textura conforme transcurre el tiempo de almacenamiento, siendo este comportamiento más notable que a 5°C aunque se continúa distinguiendo las diferencias texturales entre las concentraciones de 0.3% y 0.5%.

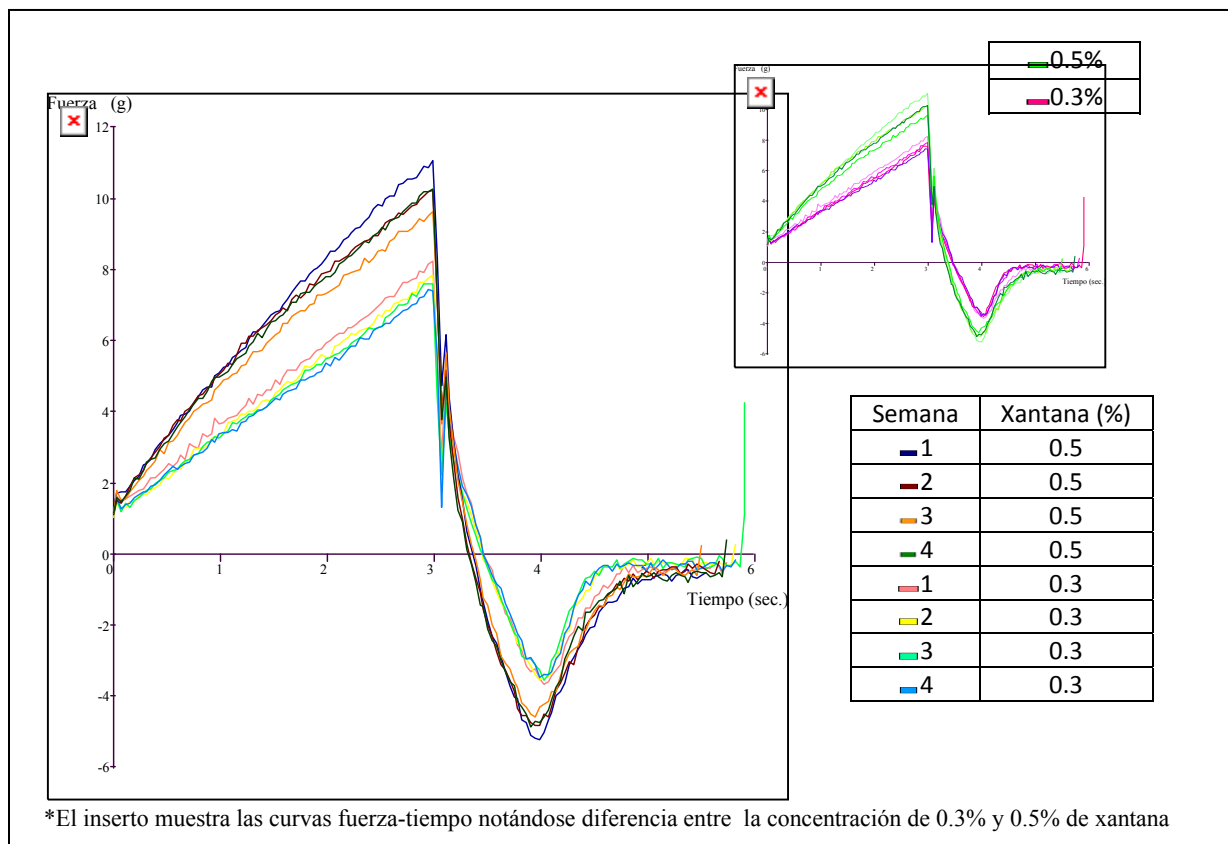


Figura 22. Diagrama fuerza tiempo de la salsa picante tipo botanera a las concentraciones de 0.3% y 0.5% de xantana con temperatura 25°C

A 40°C (Figura 23) la disminución de los picos con el tiempo de almacenamiento es más notoria en comparación con las otras temperaturas, siendo menos notable la diferencia entre la concentración de 0.5% de la semana 4 y la concentración de 0.3% semana 1.

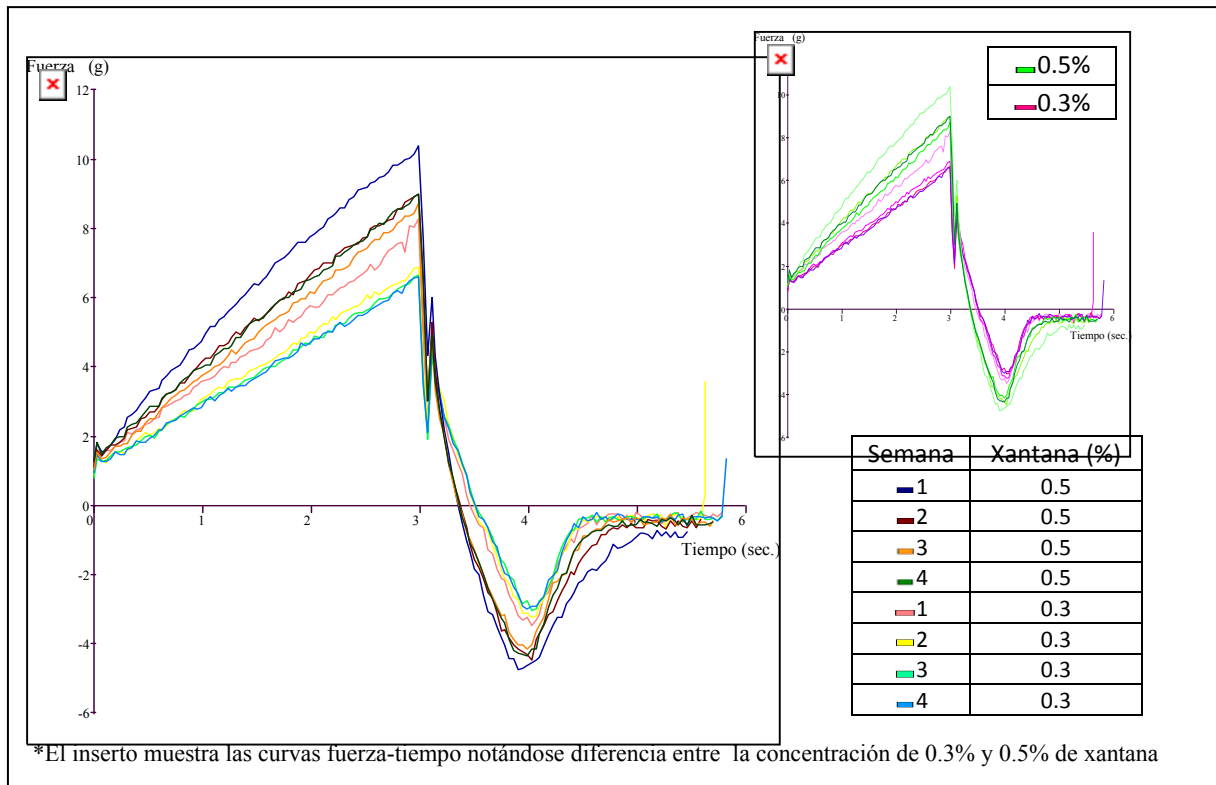


Figura 23. Diagrama fuerza tiempo de la salsa picante tipo botanera a las concentraciones de 0.3% y 0.5% de xantana con temperatura 40°C.

Los resultados del análisis de textura para la salsa tipo botanera durante las 4 semanas de almacenamiento se presentan en el Anexo 2. En el Cuadro 15 se muestran los resultados del análisis de varianza para el efecto de cada variable sobre los parámetros texturales. El análisis mostró que las tres variables tuvieron efecto significativo en los parámetros a excepción de la concentración de xantana que no influyó en el estiramiento.

Se observa que al aumentar la concentración de xantana aumentaron los parámetros de trabajo de penetración, fuerza adhesiva, dureza y la adhesividad, mientras que en estiramiento las muestras son estadísticamente iguales. De igual manera Sikora y col. (2007) observa que todos los valores de las salsas para postre en textura aumentan con la concentración de goma xantana.

Cuadro 15. Efecto de las variables de estudio (concentración, temperatura y tiempo) en los parámetros de textura de una salsa tipo botanera.

Concentración de xantana (%)	Trabajo de Penetración (g·s)	Fuerza Adhesiva (g)	Adhesividad (g·s)	Dureza (g)	Estiramiento (mm)
0.3	13.03 ^a	-3.52 ^a	-2.33 ^a	7.61 ^a	22.33 ^a
0.5	17.92 ^b	-4.81 ^b	-4.26 ^b	9.99 ^b	22.58 ^a
Temperatura (°C)					
5	16.42 ^a	-4.37 ^a	-3.51 ^a	9.12 ^a	20.14 ^a
25	16.00 ^b	-4.28 ^b	-3.53 ^a	9.10 ^a	23.33 ^b
40	14.01 ^c	-3.85 ^c	-2.84 ^b	8.18 ^b	23.90 ^b
tiempo (semana)					
1	16.58 ^a	-4.36 ^a	-3.67 ^a	9.45 ^a	22.30 ^{ab}
2	15.62 ^b	-4.21 ^b	-3.50 ^a	8.77 ^b	21.64 ^b
3	14.68 ^c	-4.04 ^c	-2.98 ^b	8.41 ^c	23.33 ^a
4	15.02 ^c	-4.06 ^c	-3.02 ^b	8.57 ^{bc}	22.56 ^{ab}

*Los valores con el mismo superíndice son estadísticamente iguales con $\alpha=0.05$, al realizar la prueba de Tukey

Con la variación de temperatura se observó una diferencia significativa ya que conforme se eleva la temperatura hay pérdida de trabajo de penetración, fuerza adhesiva, adhesividad y dureza en la salsa, no obstante el estiramiento (a 25 y 40°C), la adhesividad y dureza (a 5 y 25°C) son estadísticamente iguales.

El tiempo de almacenamiento afectó a los parámetros texturales (Ver anexo 2). Los parámetros con resultados más elevados se encontraron en la salsa con poco tiempo de almacenamiento y en las últimas semanas de almacenamiento se disponen de los valores más bajos, tal como reportan Sikora y col. (2007) en su estudio de salsas de fresa para postre. En el Cuadro 15 se observa que durante las primeras dos semanas hubo un efecto del tiempo haciéndolos estadísticamente menores; sin embargo los parámetros texturales presentan similitud durante la semana 3 y 4 siendo iguales estadísticamente, pero menores que en la semana 1 y 2.

Comportamiento al flujo

En las Figuras 24, 25 y 26 puede notarse que las salsas espesadas con goma xantana revelaron propiedades no newtonianas y ligera tixotropía.

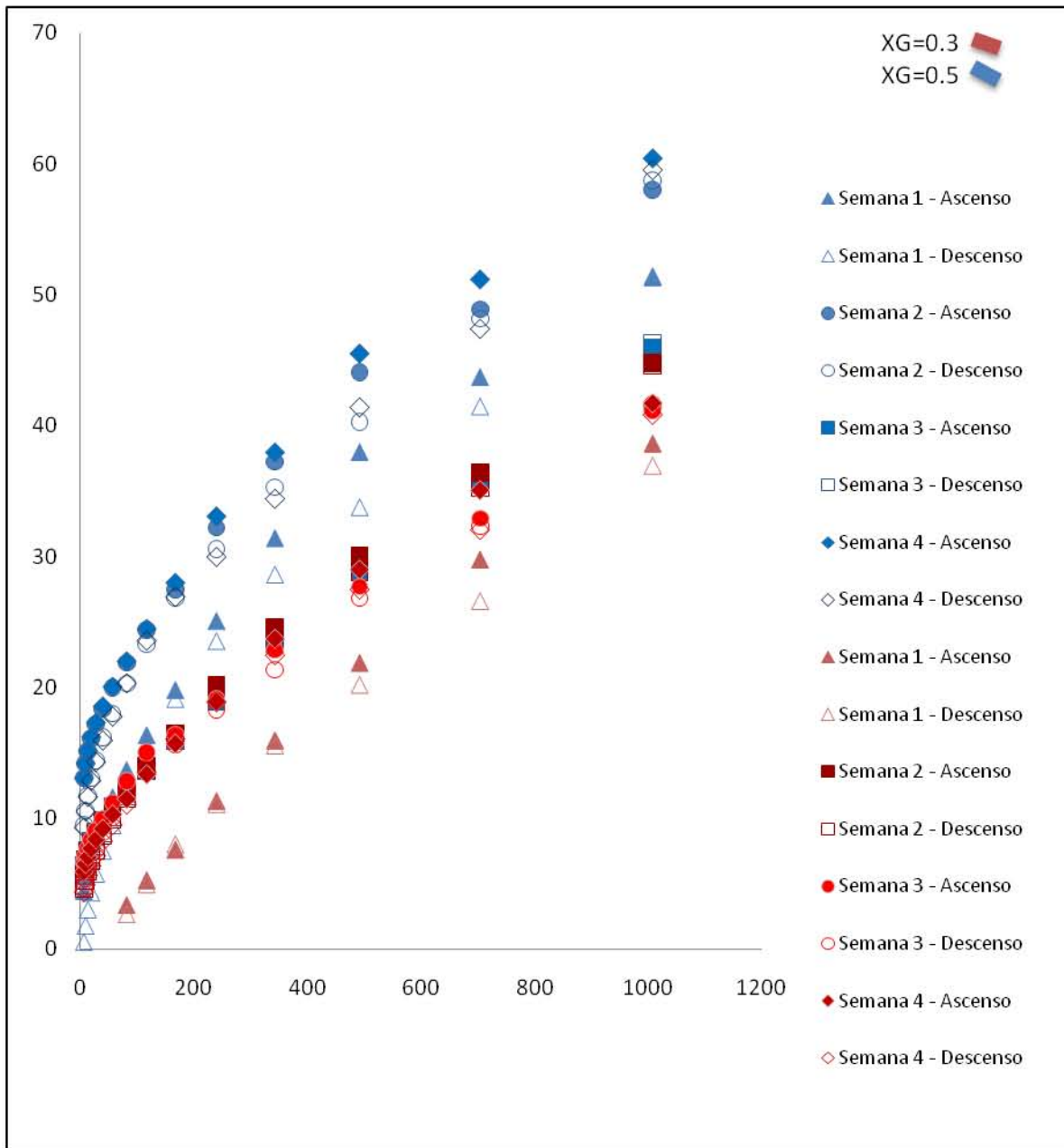


Figura 24. Curva de flujo de la salsa picante tipo botanera con concentración de goma xantana de 0.3% y 0.5% a 5°C.

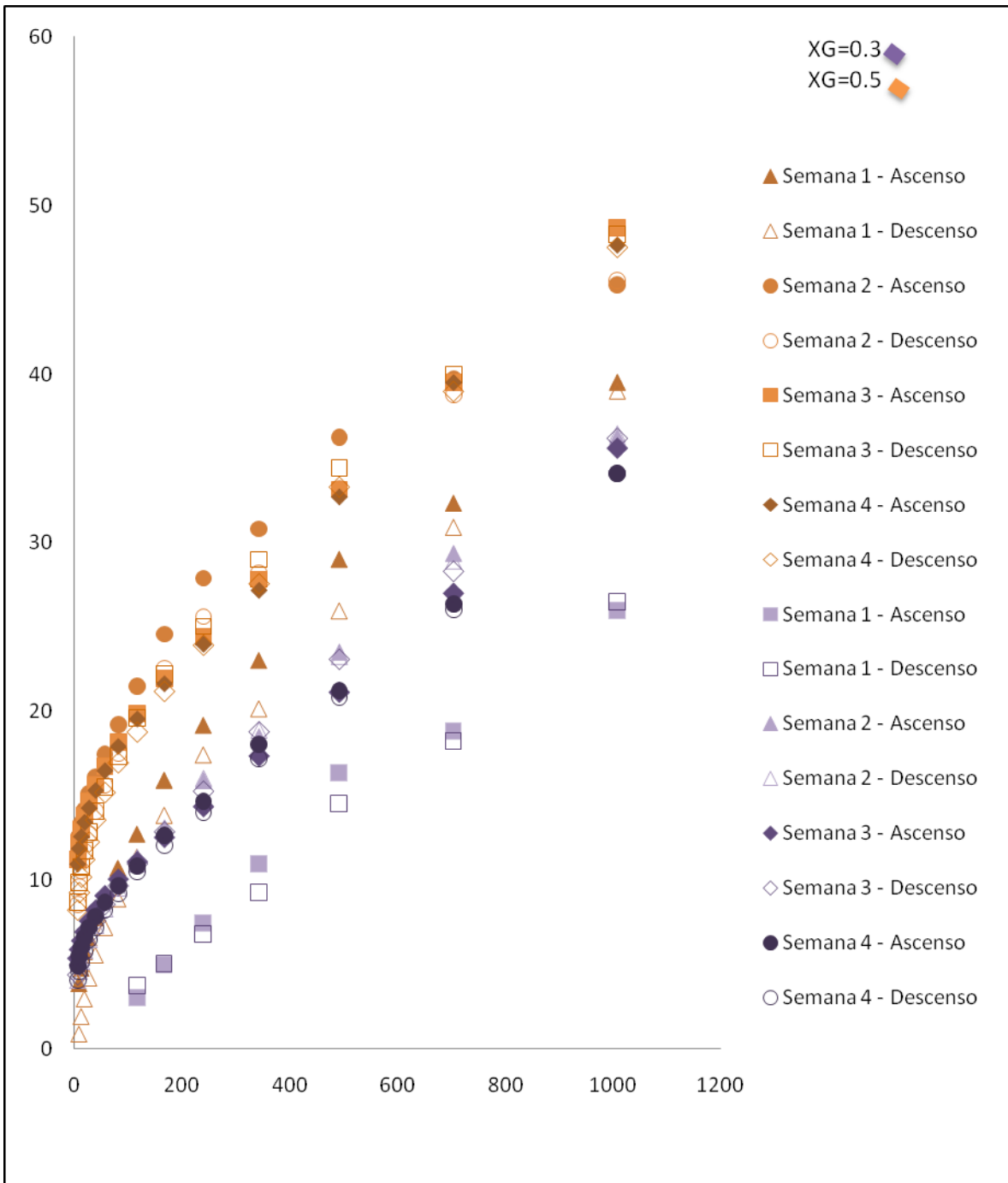


Figura 25. Curva de flujo de la salsa picante tipo botanera con concentración de goma xantana de 0.3% y 0.5% a 25°C.

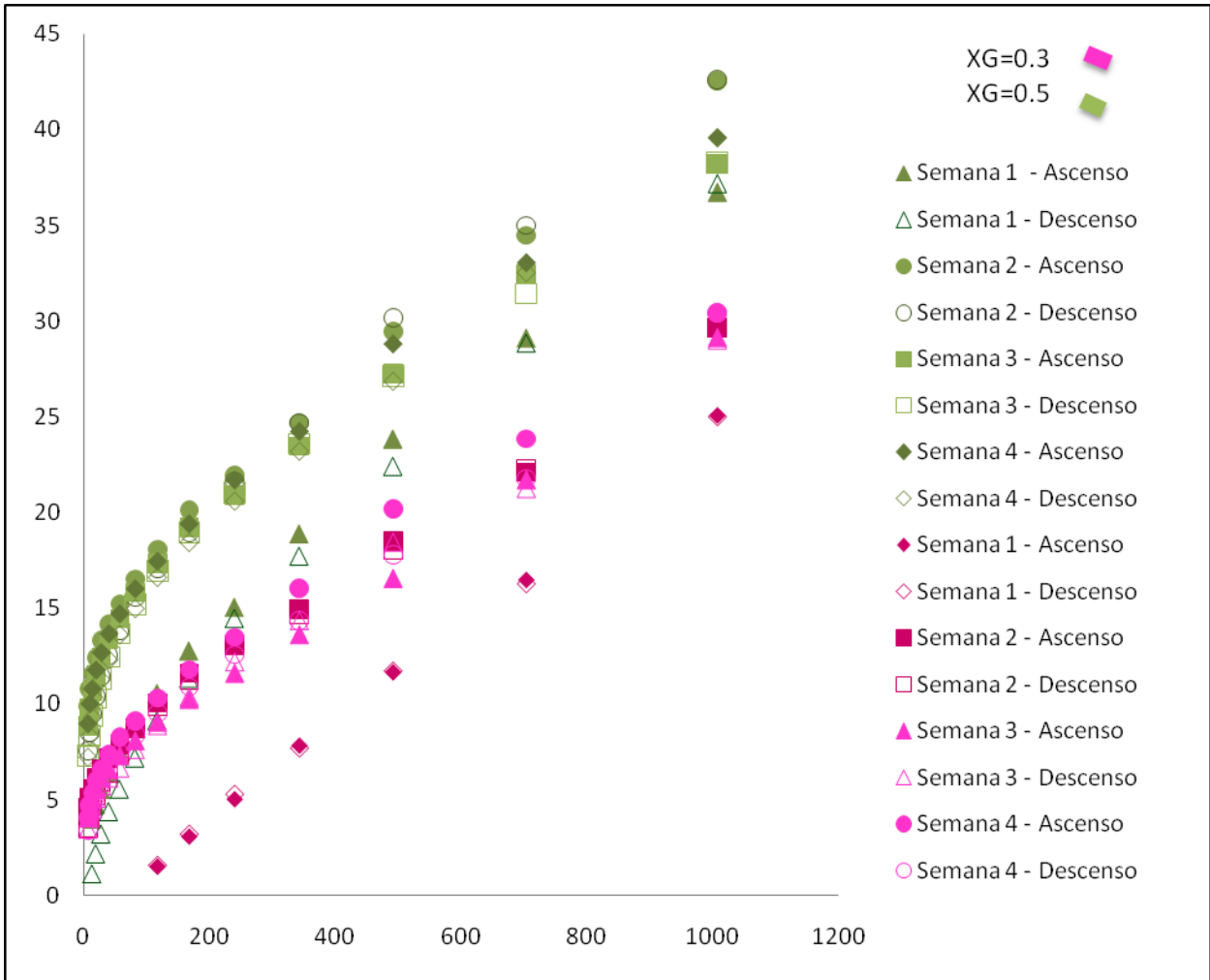


Figura 26. Curva de flujo de la salsa picante tipo botanera con concentración de goma xantana de 0.3% y 0.5% a 40°C.

El promedio de los parámetros reológicos para cada concentración, temperatura y tiempo de almacenamiento se presentan en el Anexo 3. En el Cuadro 16 se observa el efecto de las variables en los parámetros reológicos de la salsa. La concentración de xantana produjo diferencias significativas tanto en el índice de consistencia (K) como en el comportamiento al flujo (n). En general las variables presentaron valores de R^2 alrededor de 0.97.

Al aumentar la concentración de goma xantana se incrementó el índice de consistencia de manera significativa y disminuyó el índice de comportamiento, observándose una ligera tixotropía. Lo anterior coincide con lo encontrado por Sikora y col. (2007) en salsas de fresa para postre donde mezcla almidón de avena, papa o maíz con goma xantana a distintas

concentraciones, el producto fue evaluado a temperatura ambiente; todas las salsas fueron adelgazantes a la cizalla y presentaron una ligera histéresis. El almidón de papa fue el que presentó el mayor índice de consistencia, seguido del almidón de maíz en donde muestra que los resultados están influenciados por la concentración de xantana, independientemente del tipo de almidón.

Al incrementar la temperatura, se encontraron diferencias significativas en los parámetros de la curva de ascenso de la salsa tipo botanera a 40 °C, con el menor valor de k y el mayor de n . En la curva de descenso, no hubo diferencia significativa por efecto de la temperatura. En las tres temperaturas hubo ligera tixotropía, Se ha reportado que la xantana presenta viscosidad poco dependiente de la temperatura, comparado con otras gomas. Mandala (2004) encontró en salsas de xantana y algarrobo que el índice de comportamiento de flujo, n , disminuye con la concentración de xantana y se incrementa con la temperatura y que por otro lado el coeficiente K , aumenta con la concentración y disminuye cuando la temperatura aumenta.

Respecto al tiempo de almacenamiento, en ambas curvas (ascenso y descenso), en la primera semana n presenta valores cercanos a uno y K valores pequeños en comparación a las demás semanas (ver Cuadro 16 y Anexo 3); este resultado se atribuye a que la muestra se evaluó casi inmediatamente después de su preparación, de manera que continuaba afectada por el cizallamiento al que fue expuesta durante su preparación, por lo que se debió de esperar más tiempo para realizar las pruebas; otra causa probable fue que la goma continuó hidratándose durante la primera semana. Se observa que el tiempo afecta debido a que hay diferencia estadística en el ascenso en n y K ; aunque en el índice de consistencia se muestra similitud estadística en la semana 2 y 4; en los parámetros reológicos de la curva de descenso se observa que en general hay diferencia significativa, pero no afecta en n de las curvas de descenso exceptuando la semana 1. En la primera semana hubo hidratación, de la segunda a la tercera, tal vez se presentó algo de deterioro de la goma lo que se refleja en la disminución de K . Sikora y col. (2007) en su estudio de salsas de fresa para postre con distintos almidones y xantana observaron que después del almacenamiento se produce una disminución en la consistencia de las salsas.

Cuadro 16. Efecto de las variables de estudio (concentración, tiempo y temperatura) en los parámetros reológicos de una salsa tipo botanera.

Concentración de xantana (%)	$K_{\text{ascenso}} (\text{Pa}\cdot\text{s}^n)$	n_{ascenso}	R^2	$K_{\text{descenso}} (\text{Pa}\cdot\text{s}^n)$	n_{descenso}	R^2
0.3	1.729 ^a	0.544 ^a	0.979 ^a	1.277 ^a	0.575 ^a	0.985 ^a
0.5	4.488 ^b	0.340 ^b	0.979 ^a	3.095 ^b	0.429 ^b	0.986 ^a
Temperatura (°C)						
5	3.177 ^{ab}	0.447 ^{ab}	0.980 ^{ab}	2.088 ^a	0.526 ^a	0.988 ^a
25	3.312 ^a	0.422 ^a	0.977 ^a	2.300 ^a	0.484 ^a	0.983 ^b
40	2.836 ^b	0.459 ^b	0.981 ^b	2.170 ^a	0.496 ^a	0.985 ^{ab}
tiempo (semana)						
1	0.695 ^a	0.787 ^a	0.974 ^{ab}	0.249 ^a	0.878 ^a	0.985 ^a
2	4.246 ^b	0.323 ^b	0.969 ^a	2.971 ^b	0.378 ^b	0.975 ^b
3	3.499 ^c	0.330 ^c	0.978 ^b	2.602 ^c	0.381 ^b	0.987 ^{ac}
4	3.993 ^b	0.329 ^d	0.984 ^c	2.923 ^{bc}	0.373 ^b	0.989 ^{ac}

*Los valores con el mismo superíndice son estadísticamente iguales con $\alpha=0.5$, al realizar la prueba de Tukey

Estabilidad

Una forma de determinar la estabilidad es medir la velocidad a la que clarifica la parte superior de una suspensión debido a la migración de partículas suspendidas y su sedimentación. La clarificación y/o sedimentación se midieron en función del tiempo durante 35 días.

En las curvas de retrodispersión se delimitaron zonas en las que se obtuvo el cambio de espesor de las fases de sedimentación y clarificación en función del tiempo, conocida como cinética de espesor absoluto. Los datos de esta cinética se ajustan a algún modelo matemático que describa su comportamiento.

En las Figuras 27 y 28 se muestran las curvas de retrodispersión en modo de referencia (con relación a la primera medición) de la salsa a 5°C con 0.3% y 0.5% de xantana respectivamente.

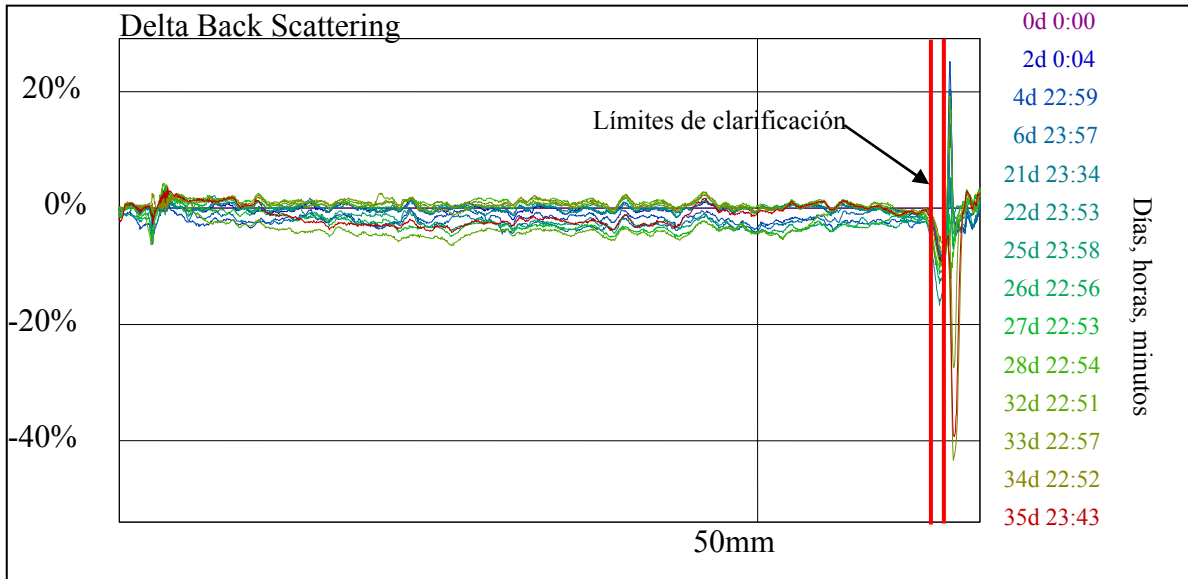


Figura 27. Intensidad de retrodispersión a diferentes tiempos, referidos a la primera medida de la salsa picante con 0.3% de goma xantana a 5°C.

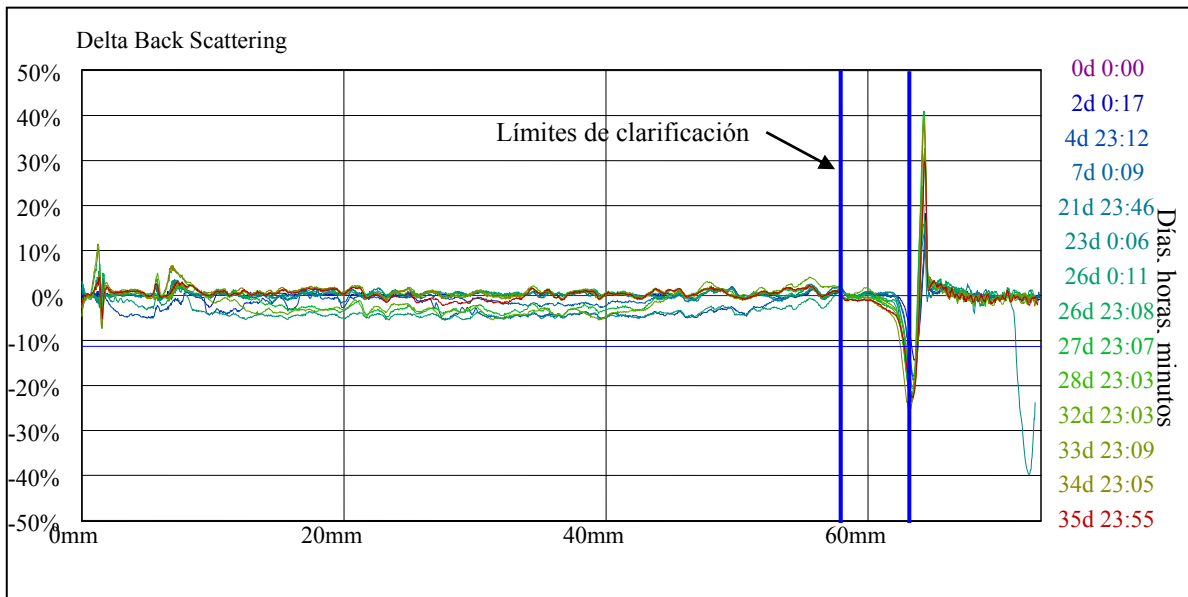


Figura 28. Intensidad de retrodispersión a diferentes tiempos, referidos a la primera medida de la salsa picante con 0.5% de goma xantana a 5°C.

En el caso de la salsa a 5°C en ambas concentraciones el ascenso de la retrodispersión en el fondo del tubo por efecto de la sedimentación de partículas es casi imperceptible, esto se vio reflejado en las cinéticas debido a que no mostraron ninguna tendencia clara por lo que se consideraron estables, aunque hubo un muy ligero clarificado caracterizado por una disminución de la retrodispersión en la parte superior del tubo, la migración de partículas fue lenta.

A 25°C (Figura 29 y 30) se observa clarificación (disminución de retrodispersión en la parte superior del tubo y sedimentación en la concentración de 0.3% sin embargo a 0.5% no se identifica claramente la sedimentación.

A la temperatura de 25°C el volumen de clarificado es mayor, en ambas muestras y concentraciones, comparado con 5°C, por lo que hay inestabilidad, aunque no se observa claramente un pico positivo de retrodispersión en el fondo del tubo por lo que no hay suficiente sedimentación a la concentración de 0.5%. El almacenamiento a 5 y 25°C tenían la estructura más estable, pero en el almacenamiento a 40°C, el deterioro de la salsa fue más pronunciado (Figuras 31 y 32) presentándose en un tiempo menor.

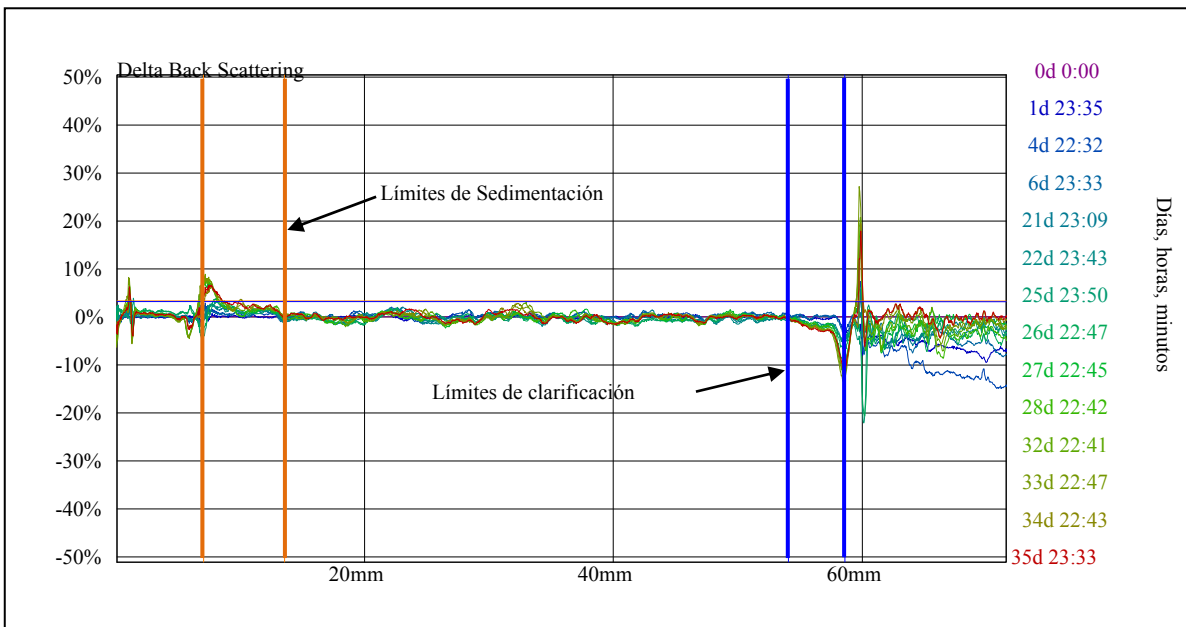


Figura 29. Intensidad de retrodispersión a diferentes tiempos, referidos a la primera medida de la salsa picante con 0.3% de goma xantana a 25°C

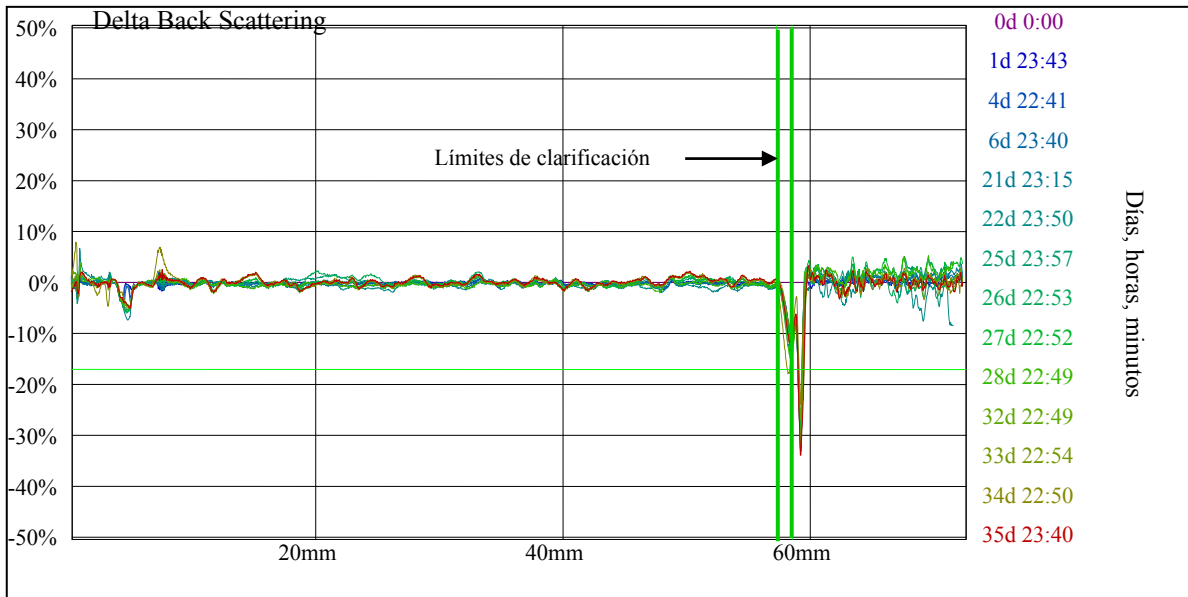


Figura 30. Intensidad de retrodispersión a diferentes tiempos, referidos a la primera medida de la salsa picante con 0.5% de goma xantana a 25°C.

La concentración de 0.3% (Figura 31) fue la más inestable; en ambas concentraciones se observa el clarificado en la parte superior de ambos tubos y sedimentación en la parte inferior.

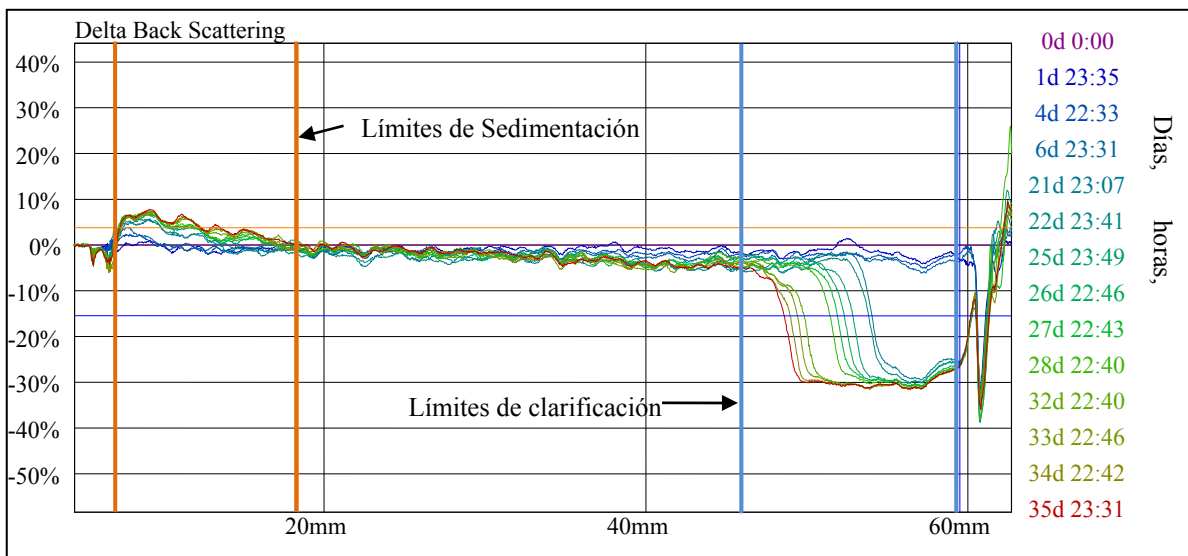


Figura 31. Intensidad de retrodispersión a diferentes tiempos, referidos a la primera medida de la salsa picante con 0.3% de goma xantana a 40°C.

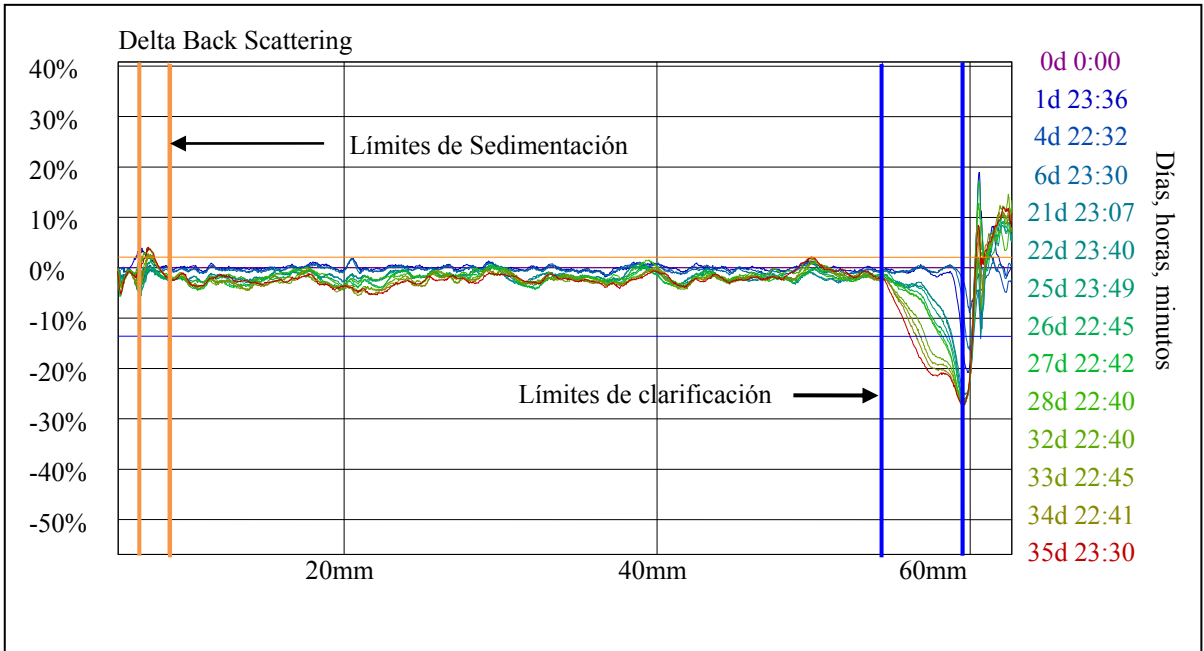


Figura 32. Intensidad de retrodispersión a diferentes tiempos, referidos a la primera medida de la salsa picante con 0.5% de goma xantana a 40°C.

En las curvas de retrodispersión a 25 y 40°C, se identificó claramente la caída y el ascenso de la retrodispersión correspondientes a los fenómenos de clarificación y sedimentación respectivamente (Figuras 29-32) y al transportar los datos obtenidos del turbiscan al software Curve Expert 1.4 ® las cinéticas mostraron una tendencia sigmoideal (Figuras 33-36) por lo que se ajustaron a un modelo propuesto por *Raharitsifa (2006)*, ecuación 12:

$$E = \frac{E_{max} e^{-m}}{e^{-m/2} + e^{-m}} \quad (12)$$

Donde E_{max} es el espesor máximo de clarificación y/o sedimentación (determinado experimentalmente en el turbiscan), m describe el carácter sigmoideal de la curva, y $t_{1/2}$ es el tiempo necesario para llegar a $E_{max} / 2$ (mitad del espesor máximo) ó tiempo medio de clarificación y/o sedimentación.

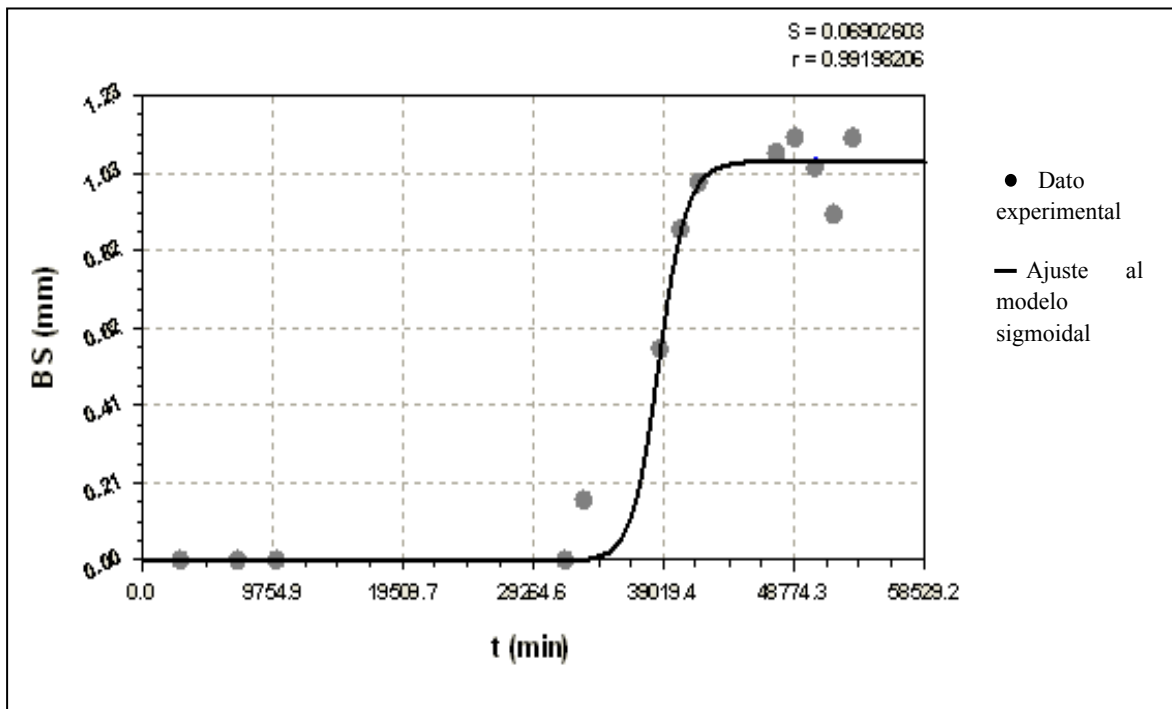


Figura 33. Curva de cinética de clarificado a 35 días de la salsa picante con 0.5% de goma xantana a 25°C. Donde s es la desviación estándar y r el coeficiente de correlación.

En las Figuras 33 y 34b se muestran las cinéticas de clarificación a la temperatura de 25°C de las muestras con 0.3% y 0.5% de xantana. En ambas muestras, la clarificación inicia alrededor de los 30000 minutos (21 días) y el espesor de la fase se incrementa rápidamente hasta un valor constante por lo que hay inestabilidad. Con 0.5% de xantana no se aprecia sedimentación y con 0.3% se inicia alrededor del día 20 (29270 minutos) y el espesor de la fase (BS) se incrementa rápidamente.

A 40°C la clarificación inicia alrededor de los 6 y 13 días a 0.3% y 0.5% de xantana (Figura 35b y 36b) respectivamente; la migración de partículas es mínima al inicio permaneciendo estable por más tiempo la concentración de 0.5% aun así en ambas concentraciones el espesor de la fase se incrementa rápidamente sin alcanzar la meseta.

En el caso de la sedimentación (Figuras 35a y 36a), con 0.3% de xantana se inicia aproximadamente a los 13.5 días y alcanza un espesor constante de 5.5 mm, mientras que

con 0.5% de xantana inicia hasta los 27 días y alcanza un valor constante de 0.38mm, mostrando mucho mayor estabilidad que con 0.3%

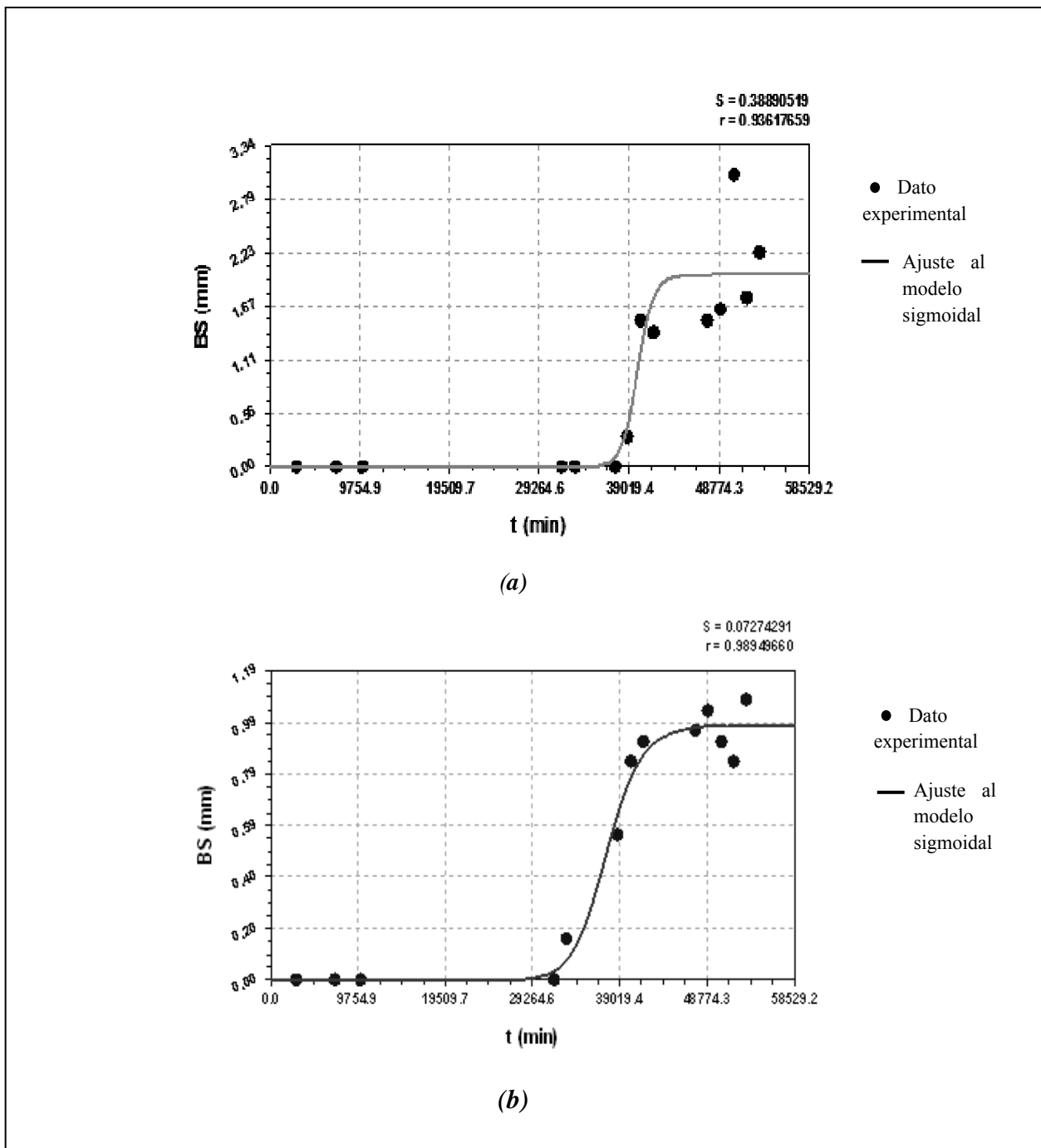
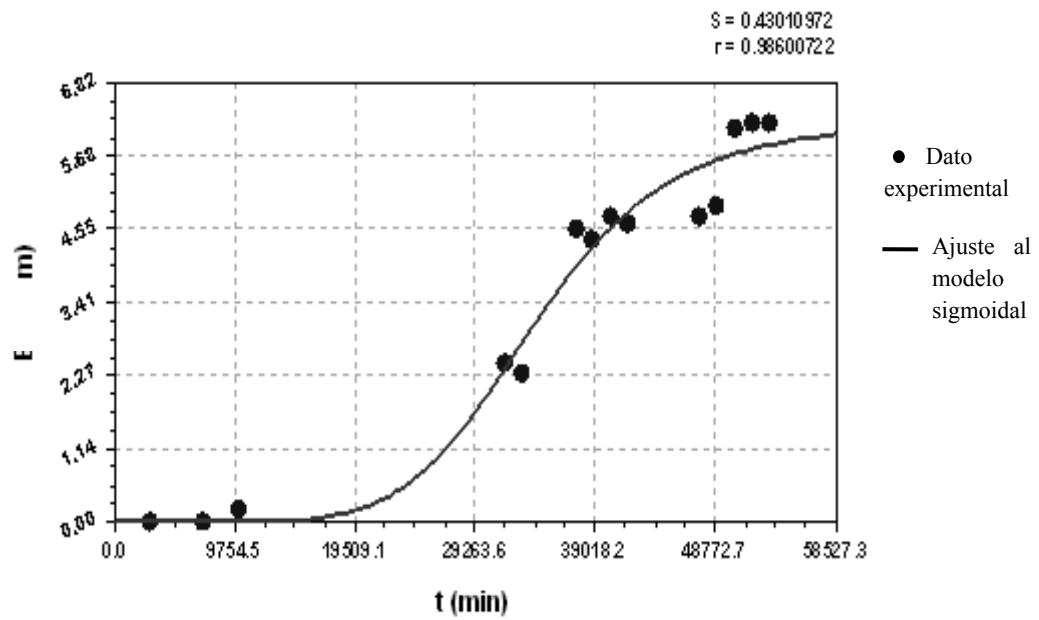
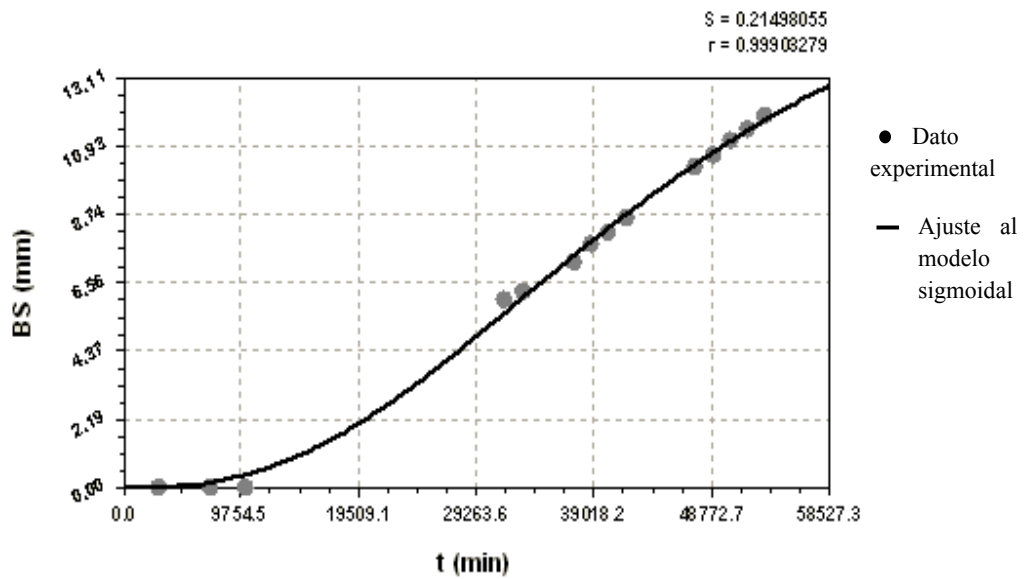


Figura 34. Curvas de cinética de: (a) sedimentación (b) clarificado a 35 días de la salsa picante con 0.3% de goma xantana a 25°C. Donde s es la desviación estándar y r el coeficiente de correlación.



(a)



(b)

Figura 35. Curvas de cinética de: (a) sedimentación (b) clarificado a 35 días de la salsa picante con 0.3% de goma xantana a 40°C. Donde s es la desviación estándar y r es el coeficiente de correlación.

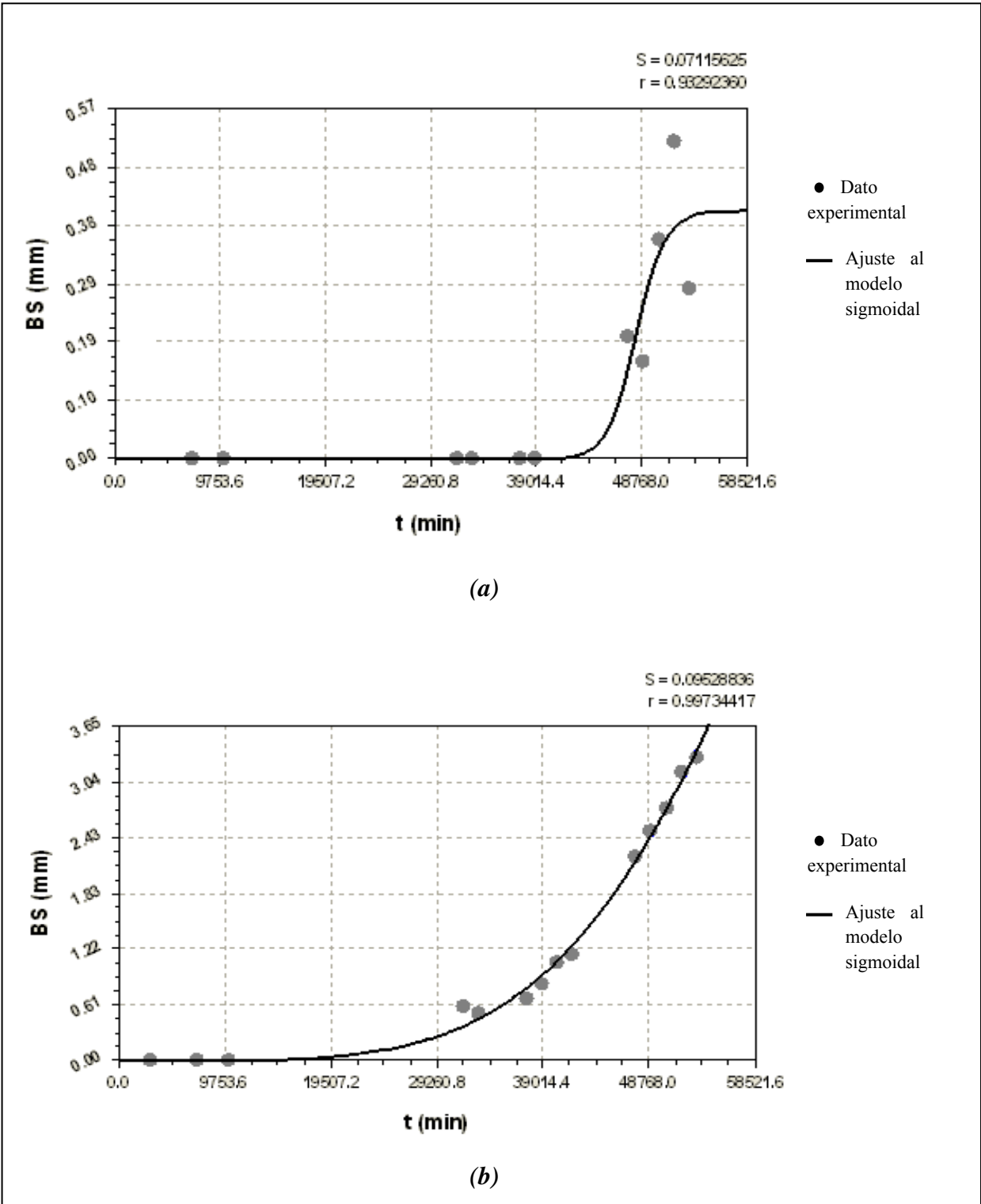


Figura 36. Curvas de cinética de: (a) sedimentación (b) clarificado a 35 días de la salsa picante con 0.5% de goma xantana a 40°C. Donde s es la desviación estándar y r es el coeficiente de correlación.

El Cuadro 17 muestra los resultados obtenidos al ajustar las cinéticas al modelo sigmoidal. A la temperatura de 25°C y 40°C; a 5°C no presentó los fenómenos de clarificación y sedimentación por lo que no se pudo obtener sus cinéticas, por lo que se considera estable. Se observa que a 25°C a pesar de que tiene casi el mismo espesor de clarificación a 0.3% y 0.5% de xantana, éste se alcanzó en un tiempo mayor a 0.5%.

Además, a 0.3% se presenta sedimentación, lo que no se observó a 0.5% debido a la lenta migración de partículas. A la temperatura de 40°C se observa que a pesar de que el espesor de clarificado es similar a 0.3% y 0.5% a esta última concentración se alcanza en un tiempo mayor; es decir con 20 días de diferencia. Se observa un espesor mayor en sedimentación a 0.3% en un tiempo corto en comparación a la concentración de 0.5% donde se obtiene menor espesor en mayor tiempo.

Comparando las dos temperaturas se observa una desestabilidad mayor a 40°C ya que ésta tiene un mayor espesor en clarificación y sedimentación en un tiempo menor, aún a la misma concentración ya que el espesor aumentó más de la mitad.

Cuadro 17. Espesor máximo de clarificado y sedimentación en función del tiempo E(t)

T	Concentración		E_{max} (mm)	t_{1/2 mig} (días)
25 °C	0.3	SD	2.0015	27.66
		CL	0.9807	26.04
	0.5	SD	---	---
		CL	1.0575	26.83
40 °C	0.3	SD	6.2478	23.74
		CL	19.7215	31.60
	0.5	SD	0.4072	33.47
		CL	19.5429	51.82

*SD = sedimentación, CL = clarificación, --- No presenta desestabilidad

CONCLUSIONES

Para asegurar un producto comercial aceptable es necesario emplear gomas para obtener la textura y el comportamiento reológico adecuados a una salsa reduciendo así la desestabilidad de la misma, sin embargo al utilizar la goma CMC no se lograron los resultados esperados, debido a que ésta no tolera valores de pH bajos, perdiendo así sus propiedades de textura y viscosidad, por otro lado al utilizar la goma xantana, se obtuvieron las características y resultados deseables en un producto como lo es la salsa picante de tipo botanera.

Se observó que a concentraciones bajas de goma xantana (0.2%) la muestra no es estable, ni presenta las propiedades reológicas y texturales adecuadas, sin embargo a medida que se incrementa la concentración de xantana, se presentan propiedades de flujo que se asemejan a las de los productos comerciales, mientras que a concentraciones de 0.3% se presentaron datos similares a los comerciales, sobre todo en la textura y la reología.

El tiempo de almacenamiento y la temperatura fueron los factores que más influyeron en las pruebas reológicas y de estabilidad. Así mismo se observó que en la semana 4 hubo un cambio en las características reológicas de la salsa tipo botanera con una disminución del índice de consistencia, lo que ocasionó que a 40°C las muestras se desestabilizaran.

Debido a que la goma xantana provee de estabilidad, las muestras a 0.5% fueron más estables como se observó en las curvas de retrodispersión y en el cálculo de los espesores de sedimentación, lamentablemente otra propiedad de la xantana es el de espesante haciendo que a la concentración de 0.5% fuese menos fluida. La temperatura también influyó en la estabilidad; a 40°C la desestabilización fue rápida y la clarificación y sedimentación fue observada; a 5°C la salsa fue estable ya que no hubo gran variación de la retrodispersión en el tiempo de estudio, en tanto que a 25°C se observó separación de fases, aunque la sedimentación a 5°C no fue observada.

Las características del producto final obtenidas con 0.3% de xantana son semejantes a las del producto comercial de acuerdo a las pruebas realizadas (físicoquímicas y reológicas).

Se recomienda disminuir el tamaño de partícula de la salsa para que ésta sea más funcional a altas temperaturas ya que es importante la estabilidad a altas temperaturas debido a que hay estados de la república mexicana que alcanzan temperaturas elevadas en ciertas épocas del año, en general la salsa presenta mejores parámetros a temperaturas bajas por lo que se recomienda mantener en un lugar fresco este tipo de producto en este tipo de clima.

BIBLIOGRAFÍA

- AMTEX. Carboximetilcelulosa de Sodio. Consultado en septiembre 2010 Disponible en http://www.plmalimentario.com/src/Productos/78_carboximetilcelulosa_gelycel.html
- Badui, S. (2006). "Química de los Alimentos". PEARSON Educación. México.
- Barnes, H., Hutton, J., Walters, K. (1989) "An Introduction to Rheology". Chapter 7, Rheology of Suspensions. 115-135. Journal of Food Engineering. B. V. Netherlands
- Belitz, H. (1992). "Química de los Alimentos". Ed. Acribia. Zaragoza, España.
- Cabrera, A. (2001). Desarrollo Teórico Sobre la Caracterización de Materiales Sólidos en Polvo y Propuesta Metodológica Para la Evaluación de la Fluidéz. de Licenciatura de Ingeniería en Alimentos, FES Cuautitlán, UNAM
- Calderón, N. (2002). Reología y Textura de Materiales Biológicos: Consistencia y Propiedades de Flujo en Salsas Comerciales. Trabajo de Seminario de Licenciatura de Ingeniería en Alimentos, FES Cuautitlán, UNAM.
- Carrillo, L. (1998). Elaboracion de una Salsa Tipo Valentina a Partir de Chile Morita (*Capsicum Annum Abreviatum*) Deshidratado en un Secador de Charolas. Tesis de Licenciatura de Ingeniería en Alimentos, FES Cuautitlán, UNAM.
- Consejo Nacional de Educación para la Vida y el Trabajo (CONEVYT). Salsa Picante Botanera. Consultada junio 2009. Disponible en http://bibliotecadigital.conevyt.org.mx/colecciones/consumir_bien/conserva/salsa_picante_tipo_botanera.htm
- Fennema, O. (1993). "Química de los Alimentos". Ed. Acribia. Zaragoza, España.
- Geankoplis, C. (1998). "Procesos de Transporte y Principios de Procesos de Separación". CESA. México
- Imeson, A. (1997). Thickening and Gelling Agents for Food. Ed. Blackie Academic & Professional. 2ª Ed. Londres.
- Kowalski, S., Sady, M., Krawontka, J., Tomasik, P., Sikora, M. (2006). "Thickening of Sweet and Sour Sauces with Various Polysaccharide Combinations". Journal of Food Engineering, (75) 407–414.
- Jeffrey, D., Acrivos, A. (1976). "The Rheological properties of suspensions of rigid particles". Alche Journal. 22(33), 417-432.

- Jinescu, V. (1974). "The Rheology of suspensions". *International Chemical Engineering*, 14(3): 397-420.
- López, F. (2002). *Reología y Textura de Materiales Biológicos Propiedades de Flujo y Viscoelásticas de un Gel Fluido (Xantana-Gelana). Efecto de Concentración y Componentes*. Trabajo de Seminario de Licenciatura de Ingeniería en Alimentos, FES Cuautitlán, UNAM.
- Lapasin, R.; Prici, S. (1999). "Rheology of Industrial Polysaccharides". Aspen Publishers, Maryland, USA.
- Maggini L., 2009. Cielab. Consultado Junio, 2009. Disponible en <http://i-magginisdigitales.blogspot.com/2009/03/administracion-de-color-parte-3-modelos.html>
- Mandala, I., Savvas, T., Kostaropoulos, A. (2004). Xanthan and Locust Bean Gum Influence on the Rheology and Structure of a White Model-Sauce. *Journal of Food Process Engineering*, (64), 335-342.
- Martínez, P. Rivera, C. (2004). Flow Behavior of Mexican Sauces Using a Vane-in-a-Large Cup Rheometer. *Journal of Food Engineering*, (72), 189-196.
- Mengual, O., Meunier, G., Cayré, I., Puech, K., Snabre, P. (1999). TURBISCAN MA 2000: Multiple Light Scattering Measurement for Concentrated Emulsion and Suspension Instability Analysis. *Talanta*, (50), 445-456.
- Minolta, 1991. *Chroma Meter Chroma CR-300/ CR-310/ CR.321/ CR-331/ CR.331C. Manual de Instrucción*. Berne Convention and Universal Copyright Convention. Japón.
- Mollet, H (2001). "Formulation Technology: Emulsions, Suspensions, Solid Forms". WILEY-VCH. New York, USA.
- Moudgil, B.; Somasundaran, P. (1985). *Flocculation, Sedimentation & Consolidation*. Ed. Engineering Foundation. Georgia, USA.
- NMX-F-377-1986. *Alimentos. Regionales. Salsa picante envasada*. Consultado junio, 2009. Disponible en: www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-377-1986.PDF
- Raharitsifa, N., Genovese, D., Ratti, C. (2006). Characterization of Apple Juice Foams for Foam-mat Drying Prepared with Egg White Protein and Methylcellulose. *Journal of Food Science*, (71), 142-151.

- Rao, M. (1986). "Engineering Properties of Foods". Marcel Dekker, Inc. New York, USA.
- Rhodes, M. (1990). "Principles of Powder Technology". WILEY, Gran Bretaña.
- Sahin, H.; Ozdemir, F. (2004). Effect of Some Hydrocolloids on the Rheological Properties of Different Formulated Ketchups. *Journal of Food Process Engineering*, (18), 1015-1022.
- Scharmm, L. (2005). "Emulsions, Foams, and Suspensions: Fundamentals and Applications". WILEY-VCH, Canadá.
- Steffe, J. (1996). "Rheological Methods in Food Process Engineering". Freeman Press. U.S.A.
- Sikora, M., Kowalski S., Tomasik, P, Sady, M. (2007). Rheological and Sensory Properties of Dessert Sauces Thickened by Starch–Xanthan Gum Combinations. *Journal of Food Process Engineering*, (79), 1144-1155.
- Stephen, A.; Phillips, G; Williams, P. (2006). "Food Polysaccharides and their Applications". 2a ed. Taylor & Francis Group, New York, USA.
- Universidad de Buenos Aires, 2007. Tecnología de Alimentos II. Consultado septiembre, 2010. Disponible en <http://www.qo.fcen.uba.ar/Cursos/TecnoII/guia.pdf>
- Zamora, A. Carbohydrates. Chemical Structure. Consultado septiembre 2010. Disponible en <http://www.scientificpsychic.com/fitness/carbohydrates2.html>

ANEXO 1

Color de la salsa picante tipo botanera a las concentraciones de 0.3% y 0.5% de goma xantana a 5°C, 25°C y 40°C.

Temperatura	Semana	0.3%		0.5%	
		L	Matiz (^{+b} / _{+a})	L	Matiz (^{+b} / _{+a})
5 °C	1	34.45	1.26	34.45	1.27
	2	35.09	1.25	35.59	1.24
	3	34.24	1.27	34.78	1.28
	4	34.81	1.25	36.78	1.24
25°C	1	34.21	1.26	34.37	1.25
	2	34.87	1.24	34.40	1.24
	3	35.53	1.27	35.61	1.24
	4	35.52	1.26	35.04	1.26
40°C	1	34.27	1.24	34.74	1.22
	2	34.41	1.33	34.12	1.32
	3	32.41	1.58	33.49	1.61
	4	35.31	1.47	35.97	1.49

ANEXO 2

Parámetros de textura de la salsa picante tipo botanera a las concentraciones de 0.3% y 0.5% de xantana a las temperaturas de 5 °C, 25°C y 40°C.

Temperatura	Xantana (%)	Semana	Trabajo de Penetración (g.s)	Dureza (g)	Fuerza Adhesiva (g)	Adhesividad (g.s)	Estiramiento (mm)
5°C	0.3	1	14.59	8.38	-3.75	-2.77	22.59
		2	14.06	7.85	-3.68	-2.49	15.54
		3	13.88	7.99	-3.85	-2.95	21.88
		4	13.94	7.96	-3.69	-2.36	15.23
	0.5	1	19.46	10.47	-5.17	-4.61	21.18
		2	19.11	10.20	-5.12	-4.63	21.85
		3	17.84	9.89	-4.72	-4.08	22.51
		4	18.28	10.00	-4.93	-4.34	21.70
25°C	0.3	1	12.59	7.74	-3.42	-2.47	23.44
		2	13.55	7.96	-3.57	-2.67	22.69
		3	12.87	7.66	-3.55	-2.46	23.46
		4	13	7.77	-3.48	-2.36	24.47
	0.5	1	18.43	10.4	-4.88	-4.73	22.76
		2	18.95	10.27	-4.97	-4.65	23.04
		3	17.84	9.89	-4.72	-4.08	22.51
		4	18.49	10.36	-4.88	-4.44	24.38
40°C	0.3	1	12.59	7.74	-3.42	-2.47	23.44
		2	11.78	6.93	-3.28	-2.29	22.58
		3	11.23	6.59	-3.11	-1.12	27.39
		4	11.34	6.69	-3.03	-1.16	28.11
	0.5	1	18.43	10.40	-4.88	-4.73	22.76
		2	16.31	9.36	-4.49	-4.03	22.51
		3	14.83	8.71	-4.23	-3.58	24.05
		4	15.65	9.05	-4.38	-3.60	24.21

ANEXO 3

Constantes reológicas de la salsa picante tipo botanera a las concentraciones de 0.3 y 0.5 a la temperatura de 5 °C, 25°C y 40°C

Temperatura	Semana	Xantana (%)	Ascenso			Descenso		
			k (Pa s ⁿ)	n	R ²	k (Pa s ⁿ)	n	R ²
5°C	1	0.3	0.050	0.975	0.994	0.042	0.992	0.978
		0.5	1.743	0.486	994	0.331	0.77	0.931
	2	0.3	2.482	0.392	0.969	1.759	0.446	0.989
		0.5	6.704	0.292	969	4.524	0.354	0.992
	3	0.3	2.907	0.357	0.974	1.964	0.418	0.99
		0.5	2.598	0.381	0.962	1.886	0.435	0.982
	4	0.3	2.402	0.389	0.968	1.720	0.441	0.992
		0.5	5.857	0.274	0.956	4.098	0.334	0.986
25°C	1	0.3	0.03	0.989	0.981	0.045	0.92	0.996
		0.5	1.256	0.496	0.998	0.302	0.729	0.959
	2	0.3	2.302	0.366	0.958	1.602	0.427	0.983
		0.5	6.284	0.273	0.979	4.393	0.325	0.993
	3	0.3	2.406	0.349	0.954	1.815	0.403	0.977
		0.5	6.057	0.271	0.954	4.37	0.328	0.986
	4	0.3	2.167	0.365	0.968	1.708	0.402	0.98
		0.5	6.519	0.302	0.967	4.466	0.356	0.991
40°C	1	0.3	0.004	1.26	0.986	0.004	1.206	0.986
		0.5	0.995	0.508	0.994	0.241	0.742	0.979
	2	0.3	2.125	0.346	0.968	1.583	0.395	0.986
		0.5	5.504	0.268	0.965	3.883	0.325	0.985
	3	0.3	1.871	0.355	0.959	1.51	0.394	0.975
		0.5	5.027	0.272	0.98	4.031	0.309	0.992
	4	0.3	1.887	0.376	0.982	1.560	0.395	0.982
		0.5	5.063	0.276	0.979	3.941	0.313	0.987

