



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA  
DE MEXICO  
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
CUAUTITLAN**

“PROPIEDADES ESPESANTES Y ESTABILIZANTES DEL ALMIDON  
DE MAIZ CEROSO ENTRECruzADO EN MEZCLA CON GOMA  
XANTANA, EN SUSPENSIONES CON PULPA DE GUAYABA”

**TESIS**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERA EN ALIMENTOS**

PRESENTA:

BERENICE VÉLEZ SANTILLÁN

ASESORES: I.A. MIRIAM EDITH FUENTES ROMERO

DRA. MA. GUADALUPE SOSA HERRERA



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## DEDICATORIAS

Todo mi esfuerzo y trabajo se lo dedico a ustedes... “mis padres”. Porque siempre me supieron guiar por el camino de la superación.

Papá, gracias a tus consejos he sabido que el estudio, la humildad y el conocimiento compartido son la base para avanzar hasta donde uno quiera y porque eres el mejor ejemplo a seguir, te amo.

Mamá, porque con tus desvelos y cuidados he sabido cuales son mis prioridades y saber lo que quiero en mi vida, te amo.

A mis hermanos: Porque entre los tres hemos sabido apoyarnos para no dejar proyectos incompletos y porque con su cariño y sus juicios he aprendido que todo es posible cuando se trabaja en equipo, los amo.

## AGRADECIMIENTOS

A mis “hermanitas” Bety, Nelly y Tere, que siempre me han sabido apoyar, escuchar y porque siempre han estado conmigo. Nuestra amistad es eterna como el amor que les tengo.

A mis amigas: Alicia, Carmen, Claus, Cris , Irene, Kika, Magas y Viri, quienes marcaron mi camino durante toda la carrera y por los momentos que vivimos en la universidad y fuera de ella, gracias por el apoyo que nos tuvimos y aunque nuestros caminos son diferentes siempre contaremos las unas con las otras.

A Noel, que de cierta forma siempre estuviste conmigo y/o para mí, alentándome a seguir y a ver que mis errores no significan un obstáculo para cumplir mis metas... Te quiero mucho.

A mis asesoras M. Edith Fuentes y Dra. Guadalupe Sosa, por su paciencia y guía durante todo el proyecto; a la profra. Norma Casas y la Dra. L. Patricia Martínez por su enseñanza en el taller de Reología y Textura.

A la UNAM, por formarme como profesionista y demostrar el porqué es la máxima casa de estudios.

GRACIAS A TODOS LOS QUE HAN MARCADO MI VIDA Y HAN CONTRIBUIDO  
PARA SER LO QUE AHORA SOY, GRACIAS DIOS POR BRINDARME LA  
FORTALEZA Y SABIDURIA PARA CUMPLIR UNA DE MIS MÁS GRANDES  
METAS.

## RESUMEN

Se estudió el efecto espesante y estabilizante de mezclas almidón-xantana en suspensiones con pulpa de guayaba (*Psidium guajava L.*) empleando dos almidones (almidón de maíz ceroso entrecruzado y almidón de maíz ceroso entrecruzado pregelatinizado) para observar el efecto del tipo de modificación en un mismo almidón y como interfiere con el comportamiento al flujo y las propiedades texturales de la mezcla almidón-xantana y suspensiones con pulpa de fruta. La mezcla se trabajó con dos niveles de variación para cada hidrocoloide: de 0.2 y 0.4 % p/p para xantana; 3 y 5 % p/p para almidones y 10, 25 y 40 % p/p para pulpa de guayaba. La reología se evaluó mediante pruebas de flujo bajo cizalla estacionaria obteniendo curvas de descenso/ascenso y de viscosidad a velocidades de 5-500 s<sup>-1</sup>, obteniendo como resultado que todos los sistemas son fluidificantes y se rigen por la ley de la potencia bajo las condiciones trabajadas. Ambas mezclas, almidón de maíz ceroso entrecruzado/xantana y almidón de maíz ceroso entrecruzado pregelatinizado/xantana, presentaron sinergismo en el índice de consistencia ( $K$ ), y los sistemas con pulpa solo incrementaron su valor conforme lo hacia la concentración de ésta, teniendo valores superiores los sistemas con almidón de maíz ceroso entrecruzado (AMCE). Al trabajar el almidón de maíz ceroso entrecruzado y pregelatinizado (AMCEP) en mezcla con xantana, se obtuvo un comportamiento menos adelgazante a la cizalla que el presentado con el otro almidón ya que los valores del índice de comportamiento al flujo ( $n$ ) son mayores que los obtenidos con el AMCE; al incorporar la pulpa proporcionó mayor consistencia y adelgazamiento a la cizalla la mezcla de xantana y almidón no pregelatinizado.

En la textura se evaluó la adhesividad del sistema mediante la prueba de penetración y la consistencia del sistema por medio de la prueba de extrusión negativa. En ambas mezclas se potencializa la consistencia y adhesividad, siendo la mezcla AMCEP/xantana menos consistente al emplear altas concentraciones y viceversa, mientras que la mezcla AMCE/xantana resultó ser la más adhesiva. Al momento de trabajar la mezcla con la pulpa, en cada sistema aumentan los valores de los parámetros texturales obtenidos de la prueba de adhesividad (fuerza de penetración, trabajo de penetración, fuerza adhesiva, estiramiento y adhesividad) y de consistencia (resistencia a la extrusión, inicio de extrusión, trabajo de extrusión, fuerza promedio y fuerza máxima de extrusión) conforme se incrementó la

concentración de pulpa. Los sistemas con AMCE son los que presentaron mayor consistencia y adhesividad.

También se evaluó la estabilidad de los sistemas mediante la prueba de estabilidad acelerada utilizando una centrifuga clínica; se encontró que conforme se incrementaba la concentración de pulpa mayor volumen de separación de sólidos se obtiene en los sistemas, no existiendo diferencia entre el tipo de almidón empleado.

## ÍNDICE TEMÁTICO

### INTRODUCCIÓN

	Página
1. CAPÍTULO I. Antecedentes	
1.1. Sistemas dispersos	1
1.1.1. Estabilidad de las suspensiones	3
1.1.2. Suspensiones con pulpa de fruta	6
1.2. Polisacáridos	6
1.2.1. Xantana	8
1.2.2. Almidones	11
1.2.2.1. Gelatinización y retrogradación	14
1.2.2.2. Almidón de maíz ceroso	16
1.2.2.3. Almidones modificados	17
1.2.2.3.1. Entrecruzamiento	17
1.2.2.3.2. Pregelatinización	18
1.2.3. Interacción polisacárido-polisacárido	19
1.3. Reología y textura	22
1.3.1. Propiedades mecánicas	22
1.3.2. Reología de sistemas alimenticios	24
1.3.2.1. Métodos de medición para reología de fluidos	25
1.3.2.2. Fluidos newtonianos	29
1.3.2.3. Fluidos no newtonianos	29
1.3.2.4. Factores que influyen en el comportamiento reológico	34
1.3.3. Textura de los alimentos	34
1.3.3.1. Métodos de medición de textura	35
1.3.3.1.1. Pruebas de penetración (adhesividad)	35
1.3.3.1.2. Pruebas de extrusión negativa	37
2. CAPÍTULO II. Metodología de investigación	
2.1. Objetivos	39
2.2. Materiales y métodos	40
2.2.1. Preparación de pulpa de guayaba	40
2.2.2. Preparación de la fase continua	41
2.2.3. Pruebas de flujo	43
2.2.4. Pruebas texturales	43
2.2.5. Prueba de estabilidad acelerada	46
2.2.6. Análisis estadístico	47
3. CAPÍTULO III. Resultados y análisis	
3.1. Pruebas de flujo	48
3.1.1. Hidrocoloides solos	48

3.1.2. Mezcla de hidrocoloides	53
3.1.3. Sistemas con pulpa de fruta	66
3.2. Pruebas de textura	77
3.2.1. Hidrocoloides solos	77
3.2.2. Mezcla de hidrocoloides	80
3.2.3. Sistemas con pulpa de fruta	90
3.3. Estabilidad acelerada	98

CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Clasificación de los sistemas dispersos según su tamaño de partícula. . . . .	2
Figura 1.2. Sedimentación por gravedad. . . . .	5
Figura 1.3. Estructura de la xantana. . . . .	9
Figura 1.4. Comportamiento de las macromoléculas de la goma xantana en solución sometidas a flujo y en reposo. . . . .	11
Figura 1.5. Estructura de la amilosa. . . . .	12
Figura 1.6. Estructura de la amilopectina. . . . .	13
Figura 1.7. Estructura semiesférica representativa del almidón. . . . .	14
Figura 1.8. Gelatinización del almidón de maíz al 5%. . . . .	15
Figura 1.9. Representación esquemática de las interacciones atractivas y repulsivas que se llevan a cabo al mezclar almidón con otro hidrocoloide. . . . .	20
Figura 1.10. Modelos de posibles estructuras que forman geles al combinar dos hidrocoloides: (a) La red de un polímero contiene al segundo polisacárido. (b) Interpenetración de ambas redes. (c) redes separadas por fases. (d) redes emparejadas. . .	21
Figura 1.11. Tipos de fuerza que se ejercen a los materiales. . . . .	24
Figura 1.12. Clasificación de los materiales según su comportamiento reológico. . . . .	24
Figura 1.13. Instrumentos comunes para la medición de la reología de fluidos y semi-fluidos, divididos en rotacionales y de tubo. . . . .	26
Figura 1.14. Prueba de cizalla rotacional en cilindros concéntricos. . . . .	27
Figura 1.15. Definición de flujo y viscosidad. . . . .	28
Figura 1.16. Clasificación de los fluidos. . . . .	28
Figura 1.17. Cambios estructurales que sufren los materiales fluidificantes. . . . .	30
Figura 1.18. Cambios estructurales que sufren los materiales espesantes. . . . .	31
Figura 1.19. Clasificación de fluidos en relación al esfuerzo y velocidad de cizalla. . . . .	33
Figura 1.20. Ejemplificación de la prueba de penetración para medir adhesividad de un material. . . . .	36

Figura 1.21. Gráfica típica de la prueba de penetración para materiales fluidos y semifluidos. ....	36
Figura 1.22. Principio de ensayo de extrusión negativa. ....	37
Figura 1.23. Curva típica que arroja la prueba de extrusión negativa. ....	38
Figura 2.1. Diagrama de proceso para la extracción de la pulpa de guayaba. ....	42
Figura 2.2. Curva representativa para las pruebas de penetración. ....	44
Figura 2.3. Curva representativa para la prueba de extrusión negativa. ....	46
Figura 3.1. Curvas de flujo correspondientes a las dispersiones de xantana. ....	49
Figura 3.2. Curvas de flujo correspondientes a las dispersiones del almidón de maíz ceroso entrecruzado. ....	50
Figura 3.3. Curvas de flujo correspondientes a las dispersiones del almidón de maíz ceroso entrecruzado y pregelatinizado. ....	51
Figura 3.4. Curvas de viscosidad de las dispersiones de xantana, AMCE y AMCEP a diferentes concentraciones. ....	53
Figura 3.5a. Curvas de flujo correspondientes a las mezclas AMCE/xantana. ....	54
Figura 3.5b. Curvas de viscosidad de las mezclas AMCE/xantana. ....	55
Figura 3.6a. Curvas de flujo correspondientes a las mezclas de AMCE con xantana al 0.2% en comparación con los hidrocoloides solos. ....	57
Figura 3.6b. Curvas de viscosidad de las mezclas de AMCE con xantana al 0.2% en comparación con los hidrocoloides solos. ....	57
Figura 3.7a. Curvas de flujo correspondientes a las mezclas de AMCE con xantana al 0.4% en comparación con los hidrocoloides solos. ....	58
Figura 3.7b. Curvas de viscosidad de las mezclas AMCE con xantana al 0.4% en comparación con los hidrocoloides solos. ....	59
Figura 3.8a. Curvas de flujo correspondientes a las mezclas AMCEP/xantana. ....	61
Figura 3.8b. Curvas de viscosidad de las mezclas AMCEP/xantana. ....	62
Figura 3.9a. Curvas de flujo correspondientes a las mezclas de AMCEP con xantana al 0.2% en comparación con los hidrocoloides solos. ....	63

Figura 3.9b. Curvas de viscosidad de las mezclas de AMCEP con xantana al 0.2% en comparación con los hidrocoloides solos. . . . .	63
Figura 3.10a. Curvas de flujo correspondientes a las mezclas de AMCEP con xantana al 0.4% en comparación con los hidrocoloides solos. . . . .	64
Figura 3.10b. Curvas de viscosidad de las mezclas de AMCEP con xantana al 0.4% en comparación con los hidrocoloides solos. . . . .	65
Figura 3.11. Curvas de flujo de ascenso y descenso de la pulpa de guayaba. . . . .	66
Figura 3.12a. Curvas de flujo correspondientes a las mezclas de AMCE (3%) con xantana (0.2%) y pulpa de guayaba. . . . .	67
Figura 3.12b. Curvas de viscosidad de las mezclas de AMCE (3%) con xantana (0.2%) y diferentes concentraciones de pulpa de guayaba en comparación con la fase continua y la pulpa sola. . . . .	68
Figura 3.13a. Curvas de flujo de la mezcla AMCE 3%/xantana 0.2% y diferentes concentraciones de pulpa en comparación de la fase continua e hidrocoloides solos. . . . .	69
Figura 3.13b. Curvas de viscosidad de la mezcla AMCE 3%/xantana 0.2% y diferentes concentraciones de pulpa en comparación con la fase continua e hidrocoloides solos. . . . .	67
Figura 3.14a. Curvas de flujo correspondientes a la mezcla AMCEP 3%/xantana 0.2% y pulpa de guayaba. . . . .	71
Figura 3.14b. Curvas de viscosidad de las mezclas de AMCEP (3%) con xantana (0.2%) y diferentes concentraciones de pulpa de guayaba en comparación con la fase continua y la pulpa sola. . . . .	72
Figura 3.15a. Curvas de flujo correspondientes a los sistemas de AMCEP (3%) con/xantana (0.2%) y diferentes concentraciones de pulpa de guayaba en comparación de la fase continua y los hidrocoloides solos. . . . .	73
Figura 3.15b. Curvas de viscosidad de los sistemas de AMCEP (3%) con xantana (0.2%) y diferentes concentraciones de pulpa de guayaba en comparación con la fase continua y los hidrocoloides solos. . . . .	73
Figura 3.16a. Comparación de las curvas de flujo correspondientes a las mezclas de almidón/xantana con diferentes concentraciones de pulpa de guayaba. . . . .	75
Figura 3.16b. Comparación de las curvas de viscosidad de los sistemas almidón/xantana con diferentes concentraciones de pulpa de guayaba. . . . .	76
Figura 3.17. Gráfico comparativo de la prueba de adhesividad de los hidrocoloides. . . . .	78

Figura 3.18. Gráfico comparativo de la prueba de extrusión negativa de los hidrocoloides solos. ....	79
Figura 3.19. Gráfico comparativo de la prueba de adhesividad de las mezclas xantana/AMCE. ....	81
Figura 3.20. Gráfico comparativo de la prueba de adhesividad de las mezclas de xantana al 0.2% con AMCE y los hidrocoloides solos. ....	82
Figura 3.21. Gráfico comparativo de la prueba de adhesividad de las mezclas de xantana al 0.4% con AMCE y los hidrocoloides solos. ....	80
Figura 3.22. Gráfico comparativo de la prueba de adhesividad de las mezclas xantana/AMCEP. ....	84
Figura 3.23. Gráfico comparativo de de la prueba de adhesividad las mezclas de xantana al 0.2% con AMCEP y los hidrocoloides solos. ....	84
Figura 3.24. Gráfico comparativo de la prueba de adhesividad de las mezclas de xantana al 0.4% con AMCE y los hidrocoloides solos. ....	85
Figura 3.25. Gráfico comparativo de la prueba de extrusión negativa de la mezcla AMCE/xantana. ....	86
Figura 3.26. Gráfico comparativo de la prueba de extrusión negativa de las mezclas de xantana al 0.2% con AMCE y los hidrocoloides solos. ....	86
Figura 3.27. Gráfico comparativo de la prueba de extrusión negativa de las mezclas de xantana al 0.4% con AMCE y los hidrocoloides solos. ....	87
Figura 3.28. Gráfico comparativo de la prueba de extrusión negativa de la mezcla AMCEP/xantana. ....	88
Figura 3.29. Gráfico comparativo de la prueba de extrusión negativa de las mezclas de xantana al 0.2% con AMCEP y los hidrocoloides solos. ....	89
Figura 3.30. Gráfico comparativo de la prueba de extrusión negativa de las mezclas de xantana al 0.4% con AMCEP y los hidrocoloides solos. ....	90
Figura 3.31. Gráfico comparativo de la prueba de adhesividad de las mezclas de AMCE/xantana con diferentes concentraciones de pulpa de guayaba en comparación con la pulpa sola. ....	91
Figura 3.32. Gráfico comparativo de la prueba de adhesividad de las mezclas de AMCE/xantana con diferentes concentraciones de pulpa de guayaba en comparación con la fase continua y los hidrocoloides solos. ....	92

- Figura 3.33. Gráfico comparativo de la prueba de adhesividad de las mezclas de AMCEP/xantana con diferentes concentraciones de pulpa de guayaba en comparación con la pulpa sola. ....93
- Figura 3.34. Gráfico comparativo de la prueba de adhesividad de las mezclas de AMCEP/xantana con diferentes concentraciones de pulpa de guayaba en comparación con la fase continua y los hidrocoloides solos. ....94
- Figura 3.35. Gráfico comparativo de la prueba de extrusión negativa de las mezclas de AMCE/xantana con diferentes concentraciones de pulpa de guayaba en comparación con la pulpa sola. .... 95
- Figura 3.36. Gráfico comparativo de la prueba de extrusión negativa de las mezclas de AMCE/xantana con diferentes concentraciones de pulpa de guayaba en comparación con la fase continua y los hidrocoloides solos. ....95
- Figura 3.37. Gráfico comparativo de la prueba de extrusión negativa de las mezclas de AMCEP/xantana con diferentes concentraciones de pulpa de guayaba en comparación con la pulpa sola. ....97
- Figura 3.38. Gráfico comparativo de la prueba de extrusión negativa de las mezclas de AMCEP/xantana con diferentes concentraciones de pulpa de guayaba en comparación con la fase continua y los hidrocoloides solos. .... 97
- Figura 3.39. Gráfico comparativo de la prueba de extrusión negativa de los sistemas almidón/xantana y diferentes concentraciones de pulpa de guayaba. .... 98

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Clasificación de los sistemas dispersos según el estado de agregación de la fase continua y la fase discontinua. ....	2
Cuadro 2: Clasificación de los polisacáridos más usados en la industria. ....	8
Cuadro 3: Modelos reológicos descritos por las curvas de esfuerzo contra velocidad de cizalla. ....	33
Cuadro 4: Cuadro resumen del diseño experimental. ....	40
Cuadro 5: Parámetros reológicos de los hidrocoloides a diferentes concentraciones. ....	52
Cuadro 6: Parámetros reológicos y modelo al que se ajustan las mezclas de almidón de maíz ceroso entrecruzado con xantana. ....	56
Cuadro 7: Parámetros reológicos de las dispersiones AMCE/xantana en comparación con los hidrocoloides solos. ....	60
Cuadro 8: Comparación de parámetros reológicos de la mezcla AMCEP/xantana. ....	61
Cuadro 9: Parámetros reológicos de las dispersiones de AMCEP/xantana en comparación con los hidrocoloides solos. ....	65
Cuadro 10: Parámetros reológicos de la mezcla de AMCE al 3% con xantana al 0.2% y pulpa de fruta, en comparación con la fase continua y la pulpa de guayaba. ....	69
Cuadro 11: Parámetros reológicos de la mezcla AMCEP al 3% con xantana al 0.2% y pulpa de fruta, en comparación con la fase continua y la pulpa de guayaba. ....	74
Cuadro 12: Parámetros reológicos de los sistemas almidón/xantana con diferente contenido de pulpa en comparación con la pulpa guayaba sola. ....	72
Cuadro 13: Parámetros texturales de la prueba de penetración de las dispersiones de hidrocoloides. ....	78
Cuadro 14: Parámetros texturales de la prueba de extrusión negativa de las dispersiones de hidrocoloides. ....	80
Cuadro 15: Parámetros texturales de la prueba de penetración de las mezclas AMCE/xantana en comparación con los hidrocoloides solos. ....	81
Cuadro 16: Parámetros texturales de la prueba de penetración de las mezclas AMCEP/xantana en comparación con los hidrocoloides solos. ....	83
Cuadro 17: Parámetros texturales de la prueba de extrusión negativa de las mezclas AMCE/xantana en comparación de los hidrocoloides solos. ....	87

Cuadro 18: Parámetros texturales de la prueba de extrusión negativa de las mezclas AMCEP/xantana en comparación con los hidrocoloides solos. ....	89
Cuadro 19: Parámetros texturales de la prueba de penetración de los sistemas almidón/xantana y diferentes concentraciones de pulpa de guayaba en comparación con la pulpa sola. ....	93
Cuadro 20: Parámetros texturales de la prueba de extrusión negativa de los sistemas de almidón/ xantana con diferentes concentraciones de pulpa de guayaba en comparación de la pulpa sola. ....	96
Cuadro 21: Resultados obtenidos de la prueba de estabilidad de las suspensiones con pulpa de fruta. ....	99

## INTRODUCCIÓN

La mayoría de los productos elaborados a base de fruta pasan por algún tipo de tratamiento durante su manejo, ya sea térmico o mecánico, lo que modifica diversas propiedades de los mismos tales como su sabor, color, textura, densidad y viscosidad (Lozano, 2006). Existe una gran variedad de productos con fruta dentro de la industria de alimentos que van desde salsas agrídulces, jugos, néctares, concentrados, purés, mermeladas, rellenos para pay, entre otros, donde el uso de polisacáridos como estabilizantes y espesantes es frecuente (Barrett, 2005).

Dentro de los sistemas dispersos que se encuentran en la industria de alimentos, las suspensiones a base de agua, como los productos con fruta, se caracterizan por contener partículas suspendidas conformando la fase dispersa (Lee, 1983), así mismo, la gran mayoría de estos productos a base de frutas, están compuestos en gran parte de agua, por lo que la base técnica del uso de hidrocoloides es la habilidad de éstos materiales para modificar las propiedades físicas de la misma (Barrett, 2005). El estudio de las suspensiones que contienen algún porcentaje de pulpa de fruta se ha enfocado principalmente a la inestabilidad que presentan debido a que las partículas que se encuentran suspendidas en ellos tienden a sedimentarse en el fondo de los envases que los contienen.

Uno de los polisacáridos que se ha destacado por su aplicación en sistemas dispersos alimenticios es el almidón de maíz ceroso, que contiene un 99% de amilopectina, careciendo prácticamente de amilosa (Saunders, 1998). Este almidón gelatiniza con mayor facilidad en comparación con los almidones que sí contienen amilosa, tendiendo a formar pastas espesas a una temperatura baja dando un alto intervalo de viscosidad (Dumitriu, 2005). Sin embargo, puede ser menos eficiente debido a que presenta baja resistencia a esfuerzos de corte y descomposición térmica, al no contener amilosa este almidón no tiende a retrogradar, ni gelificar siendo su sinéresis mínima (Wang y col., 2009). Para diversificar y optimizar el uso de este tipo de almidón se suele modificar química y/o físicamente.

Los almidones modificados tienen más propiedades funcionales que los naturales, comportándose como agentes espesantes, gelificantes, estabilizadores, humectantes, retenedores de agua y formadores de películas en productos con distinto pH y contenido de sales. Se utilizan múltiples tratamientos para obtener la combinación deseada de



propiedades que un almidón pueda proporcionar (Whistler y col., 1984). Uno de los procesos de modificación de los almidones es el entrecruzamiento, donde el gránulo del almidón es reforzado, formando una pasta que presenta alta estabilidad a la agitación y al calentamiento (Singh y col., 2007).

Los almidones nativos presentan un proceso de gelatinización muy largo, ya que por naturaleza el almidón necesita de un calentamiento en fase acuosa para que los gránulos del mismo comiencen a hidratarse y a hincharse para poder dar lugar a la gelatinización, además se debe de cuidar la relación entre la temperatura y el tiempo de hidratación (Imeson, 1997) ya que, un bajo o sobre calentamiento puede provocar que el gránulo no llegue a su punto máximo de viscosidad o se pierda el equilibrio que alcanza en el punto máximo de gelatinización (Cui, 2005). Por ello se ha buscado reducir el riesgo de tener una inadecuada hidratación del almidón durante los procesos de manufactura mediante el uso de almidones que son modificados para poder desarrollar alta viscosidad en agua fría; dichos almidones se modifican mediante un proceso físico conocido como pregelatinización, donde básicamente se lleva una precocción al almidón en agua a sus óptimas condiciones para luego secar la pasta obtenida; este proceso daña al gránulo, rompiéndolo parcialmente haciendo que el producto ya seco absorba agua rápidamente cuando es dispersado nuevamente (Chaudemanche y Budtova, 2008), proporcionando una alta adhesividad pero menos viscosidad que los que no están pregelatinizados (Whistler y col., 1984).

Tradicionalmente se usan almidones y gomas en conjunto en los productos de frutas con el fin de modificar o controlar las propiedades reológicas y texturales, así como para incrementar o mejorar su estabilidad. Por sus propiedades reológicas y estructura semi rígida en forma de hélice, la xantana es un estabilizante muy efectivo en sistemas a base de agua (Branen y col., 1990), ya que es una goma fluidificante, soluble en agua fría o caliente, que forma soluciones muy viscosas y estables en un intervalo de pH de 1-9 y en presencia de diversas sales en el medio; además es compatible con otros polisacáridos presentando sinergia. Esta goma es muy efectiva en sistemas ácidos como los que contienen pulpa de fruta, proporcionando estabilidad a la suspensión por largos intervalos de tiempo (Katzbauer, 1997).

Se sabe que la adición de xantana a mezclas que contienen diferentes tipos de almidón causan diversos efectos en un determinado sistema, como la mezcla de almidón de maíz

ceroso con xantana causa cambios sobre el comportamiento al flujo bajo cizalla, modificando también la termo resistencia del sistema (Wang y col., 2009), además de presentar menos tixotropía conforme se aumenta la concentración de xantana en el sistema (Achayuthakan y Suphantharika, 2008). Es por ello que se han desarrollado diversos estudios para conocer la sinergia que presentan los sistemas almidón/polisacárido (Wang y col., 2009; Chaudemanche y Budtova, 2008; Achayuthakan y Suphantharika, 2008), y otros más se han enfocado en la estabilidad que proporcionan estos polisacáridos por separado en sistemas con fruta (Liang y col., 2006; Genovese y Lozano, 2001; Wei y col., 2001). Es por ello que en el presente proyecto se propuso estudiar la mezcla almidón/xantana, utilizando una misma variedad de almidón pero con dos tipos de modificación, uno que se encuentre entrecruzado y otro además pregelatinizado, para posteriormente corroborar si el sinergismo conocido por esta mezcla se ve afectado por la variación del tipo de modificación del almidón, y con ello ver si el efecto observado en la mezcla acuosa se mantiene en sistemas ácidos mediante la adición de pulpa de guayaba en el sistema.

# CAPÍTULO I

## ANTECEDENTES

### 1.1 Sistemas dispersos

Los alimentos presentan un alto grado de organización molecular, ya que se encuentran constituidos por diversos elementos, considerándose como sistemas dispersos (Shaw, 1990). A diferencia de las soluciones verdaderas que son homogéneas, las dispersiones coloidales se consideran heterogéneas siendo el medio en que ocurre la dispersión una fase denominada fase dispersante o fase continua, mientras que la sustancia que se dispersa se conoce como fase dispersa o discontinua (Maron y Prutton, 2008; Lee, 1983). De esta manera el conjunto de estas fases o mejor dicho la solución coloidal completa se conoce como sistema disperso (Maron y Prutton, 2008).

Tanto la fase continua como la discontinua pueden encontrarse en cualquier estado de agregación: sólido, líquido o gaseoso. Como se muestra en el Cuadro 1, los sistemas dispersos pueden clasificarse en dispersiones del tipo sólido-líquido, líquido-líquido y gas-líquido (Jerome, 2009). De estos ocho tipos de sistemas los de mayor importancia e interés son los soles o suspensiones, emulsiones, geles, aerosoles y espumas (Maron y Prutton, 2008).

También se pueden clasificar los sistemas dispersos de acuerdo a su tamaño de partícula (Figura 1.1). El tamaño de partículas del soluto en soluciones ordinarias es generalmente de menos de 1 hasta 10 Å o de 0.1 a 1 m $\mu$ , considerándolos de un tamaño molecular que es imposible de observar a simple vista (Maron y Prutton, 2008), en cambio el tamaño de partícula de las dispersiones coloidales se encuentra por arriba de este intervalo, desde 1 m $\mu$  hasta más de 1  $\mu$ .

Cuadro 1: Clasificación de los sistemas dispersos según el estado de agregación de la fase continua y la fase discontinua (Lozano, 2006).

FASE DISPERSA	MEDIO DISPERSANTE	TIPO DE SISTEMA	EJEMPLOS
Líquido	Gas	Aerosol	Niebla
Sólido	Gas	Aerosol sólido	Humo
Gas	Líquido	Espuma	Crema batida
Líquido	Líquido	Emulsión	Mayonesa, leche
Sólido	Líquido	Sol, Suspensión	Pintura, jugo turbio
Gas	Sólido	Espuma sólida	Malvavisco
Líquido	Sólido	Gel	Gelatina, queso
Sólido	Sólido	Sol sólido	Algunas aleaciones

Dentro de los sistemas dispersos se encuentran las suspensiones que se pueden definir como “dispersiones de finas partículas en líquidos” (Morrison y Ross, 2002). Sin embargo son conocidas también como suspensiones groseras o gruesas. Son mezclas heterogéneas con partículas de gran tamaño que abarcan desde  $1\ \mu$ , siendo visibles al microscopio y tienen con frecuencia a sedimentar (Shaw, 1990).

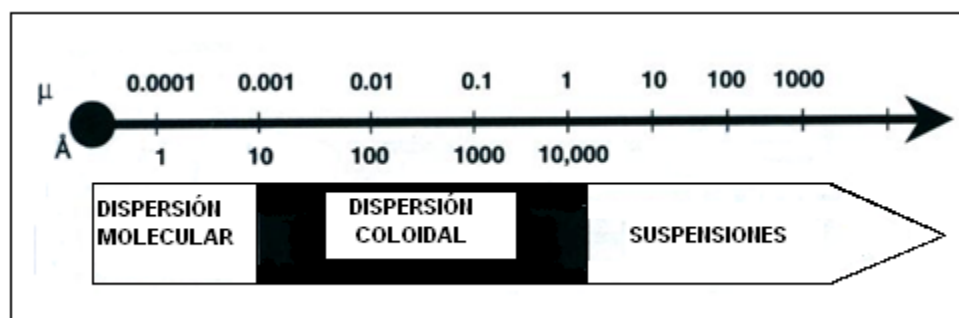


Figura 1.1. Clasificación de los sistemas dispersos según su tamaño de partícula (Lozano, 2006).

### 1.1.1 Estabilidad de las suspensiones

A nivel micro molecular las suspensiones pueden presentar una repulsión electrostática entre las partículas de sus componentes que son las que realmente permiten estabilizar a la suspensión, de esta manera, a este nivel, las suspensiones se pueden clasificar en:

- Liofóbicas. Existe poca o nula afinidad entre las partículas y el solvente. La estabilidad depende principalmente de la carga de las partículas (Morrison y Ross, 2002), por lo que sólo adsorben principalmente iones del electrólito de las soluciones en las cuales están preparadas (Maron y Prutton, 2008). Si el agua es el solvente, se utiliza el término hidrófobo. Estas suspensiones no son muy estables ya que tienden a flocular (Morrison y Ross, 2002).
- Liofílicas. Hay afinidad entre las partículas y el solvente. Cuando la fase continua es agua, se llaman hidrofílicas. Su estabilidad obedece al hecho de que las partículas contienen cargas eléctricas del mismo signo y, en consecuencia, no pueden acercarse entre sí lo suficiente para agregarse (Morrison y Ross, 2002), atrayendo hacia ellas primeramente una capa del medio en la cual pueden o no adsorber los iones, esto depende de la condiciones de las suspensión (Maron y Prutton, 2008).

Las partículas con carácter liofóbo hacia el solvente tienen fuerzas de atracción entre ellas, provocando la adhesión de las mismas y la formación de agregados, lo que incrementa su tamaño y que por efecto de la gravedad tienden a sedimentar con mayor facilidad, a este fenómeno se le conoce como floculación.

Para la estabilidad de sistemas coloidales, las fuerzas repulsivas entre las partículas deben ser dominantes (Lozano, 2006). Existen diferentes mecanismos que afectan esta estabilidad:

- Repulsiones estéricas: Involucra a macromoléculas absorbidas en la superficie de la partícula, causando repulsión (Lozano, 2006).
- Repulsiones electrostáticas: es el efecto sobre la interacción de la partículas debido a la distribución del tipo de carga en el sistema (Lozano, 2006).

A nivel macromolecular la velocidad de asentamiento se observa fácilmente ya que la separación entre el medio y la suspensión se encuentra bien definida. De la observación de

tales velocidades es posible llegar a calcular las dimensiones y masas de las partículas suspendidas aplicando la ecuación de Stokes que describe que cuando se establece un equilibrio entre ambas fuerzas, toda partícula esférica caerá con una velocidad constante  $v$  que es dada por la Ecuación (1) (Maron y Prutton, 2008).

$$v = \frac{2r^2 g(\rho - \rho_m)}{9\eta} \quad \text{Ecuación (1)}$$

Dónde:

$v$  = velocidad de sedimentación (m/s).

$r$  = radio de las partículas en suspensión (m).

$g$  = aceleración de la gravedad ( $\text{m/s}^2$ ).

$\rho$  = densidad de la fase dispersa ( $\text{Kg/m}^3$ ).

$\rho_m$  = densidad de la fase continua ( $\text{Kg/m}^3$ ).

$\eta$  = viscosidad de la fase continua ( $\text{Kg/m}\cdot\text{s}$ ).

Si  $\rho$  es mayor que  $\rho_m$ , la partícula se asentará, de lo contrario la partícula se desplazará hacia arriba. Cualquier partícula de radio  $r$ , tendiendo a asentarse bajo la acción de la gravedad, encontrará una oposición por parte de la fuerza de fricción del medio (Maron y Prutton, 2008).

Puesto que  $v$ , como se esquematiza en la Figura 1.2, a una distancia  $x$  bajo una superficie  $A$ , vale  $dx/dt$ , es decir la velocidad a la cual desciende al nivel  $B$ , de esta manera la Ecuación (1) puede escribirse

$$\frac{dx}{dt} = \frac{2r^2 g(\rho - \rho_m)}{9\eta} \quad \text{Ecuación (2)}$$

Integrando esta ecuación entre los límites  $x_1, t_1$  y  $x_2, t_2$  se obtiene

$$(x_2 - x_1) = \frac{2r^2 g(\rho - \rho_m)(t_2 - t_1)}{9\eta} \quad \text{Ecuación (3)}$$

Conociendo  $\rho$ ,  $\rho_m$  y  $\eta$  midiendo las distancias  $x_1$  y  $x_2$  a dos tiempos diferentes  $t_1$  y  $t_2$ , es posible calcular el radio de las partículas que se asientan a partir de la Ecuación (3) (Maron y Prutton, 2008).

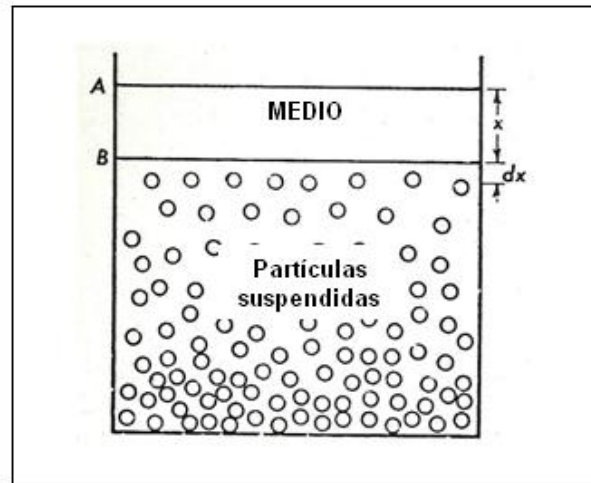


Figura 1.2. Sedimentación por gravedad (Maron y Prutton, 2008).

A menos que las partículas suspendidas sean grandes, la sedimentación por gravedad es un proceso sumamente lento. Sin embargo, es posible acelerarlo mediante el uso de ultracentrífugas. Con el empleo de éstas, la fuerza centrífuga reemplaza la acción de la gravedad. La aceleración de un campo centrífugo a una distancia  $x$  del eje de rotación es  $\omega^2 x$ , dónde  $\omega$  es la velocidad angular de rotación en radianes/segundo, y por sustitución de  $g$  en la Ecuación (2) se obtiene la velocidad de asentamiento que, separando las variables e integrando entre los límites anteriormente mencionados se obtiene

$$\ln \frac{x_2}{x_1} = \frac{2r^2 \omega^2 (\rho - \rho_m)}{9\eta} (t_2 - t_1) \quad \text{Ecuación (4)}$$

Mediante la Ecuación (4) puede calcularse  $r$  a partir de los valores de  $x$  y  $t$  en dos etapas de la sedimentación y conociendo la velocidad de rotación de la ultracentrífuga  $\omega$  (Maron y Prutton, 2008).

La sedimentación de partículas puede reducirse ya sea disminuyendo el tamaño de partícula de la fase dispersa, la diferencia de densidades entre ésta y la fase continua o incrementando la viscosidad del sistema mediante agentes espesantes (Walstra, 2003).

### 1.1.2 Suspensiones con pulpa de fruta

Las suspensiones se pueden encontrar en productos elaborados a base de fruta, ya que son sistemas a base de agua, caracterizados por contener partículas suspendidas que conforman a la fase dispersa (Lee, 1983). Existe una gama de suspensiones que contienen pulpa de fruta, van desde las bebidas de frutas, néctares, concentrados, hasta purés (Barrett, 2004). Muchas de estas suspensiones con pulpa de fruta pueden disminuir el grado de floculación al someterlas a medios mecánicos como la clarificación, decantación, filtración, etc. sin embargo estos procesos restan algunas de las propiedades que poseen originalmente como el color, sabor y textura (Lozano, 2006). En el caso de los néctares y concentrados, si se reduce el contenido de pulpa en ellos, afecta de manera desfavorable la calidad organoléptica de estos productos, es por ello que el uso de agentes estabilizantes ayuda a prevenir la sedimentación obteniendo así una mejor turbidez y apariencia en estos sistemas (Liang y col., 2006).

Las propiedades reológicas de las pulpas y jugos de fruta dependen de su variedad, estado de madurez, concentración de jugo/pulpa y variación de temperatura (Andrade y col., 2009). Se han realizado estudios donde se ha caracterizado reológicamente a las pulpas y concentrados de fruta, en particular Andrade y col. (2009) declaran que la pulpa de frutas tropicales como la guayaba presentan un comportamiento del tipo de la potencia, comportándose como un fluido adelgazante a la cizalla ( $n \leq 0.307$ ) y presentando tixotropía a velocidades de cizalla bajas ( $0 - 120 \text{ s}^{-1}$ ).

## 1.2 Polisacáridos

Son polímeros de monosacáridos de alto peso molecular compuestos por unidades glicosílicas en disposición lineal o ramificada, poseen grupos hidroxilo que forman puentes de hidrógeno con una o más moléculas de agua provocando que, en sistemas acuosos, las



partículas de polisacárido puedan tomar moléculas de agua, hincharse con ellas y solubilizarse total o parcialmente (Cui, 2005). Es por ello que también reciben el nombre de hidrocoloides, porque tienen la habilidad de modificar las propiedades físicas del agua; otro nombre que se les denomina también son gomas. Estos biopolímeros, en fase acuosa como sistemas dispersos, pasan a formar parte de la fase dispersa, como partículas coloidales, ayudando a controlar la reología y textura de la fase continua. La funcionalidad de estos hidrocoloides es el resultado de las interacciones macromolécula-agua y macromolécula-macromolécula (Eliasson, 2006), siendo las más destacadas las siguientes:

- Modifican la reología de los sistemas, afectando el flujo de bebidas principalmente.
- Ayudan a la suspensión en los productos que contienen partículas grandes.
- Son estabilizadores de mezclas aceite/agua.
- Forman geles fuertes y suaves para productos que requieren tener esta característica.

Los polisacáridos pueden encontrarse en la naturaleza como materiales acumulados o componentes de la pared celular, exudados, y como sustancias extracelulares de las plantas o microorganismos (Dumitriu, 2005). El Cuadro 2 muestra los polisacáridos más usados clasificándolos por su origen, dónde se observa que los hidrocoloides pueden ser no sólo de origen vegetal, existen algunas gomas que se obtienen de productos de origen animal; así mismo se resumen las propiedades coloidales que presentan cada uno de ellos.

Una de las formas de clasificar a los polisacáridos es en función de su estructura ya que pueden ser lineales o ramificados; los lineales como la gelana, alginatos, pectinas y la mayoría de los almidones tienen la principal funcionalidad como agentes gelificantes y espesantes, de acuerdo a las condiciones de mezclado, mientras que los ramificados dentro de los que se encuentran la goma guar, tragacanto, los almidones cereos y la xantana se caracterizan por ser espesantes y estabilizantes (Branen y col., 1990).

La xantana es uno de los hidrocoloides que se adecúa a la mayoría de los productos alimenticios debido a la extensa estabilidad y compatibilidad que presenta a diversas condiciones como se describe más adelante. El almidón también es uno de los polisacáridos más usados en la industria de alimentos ya que la mayoría de los productos alimenticios contienen en su estructura dicho polisacárido o bien, es compatible con la mayoría de ellos.

Cuadro 2: Clasificación de los polisacáridos más usados en la industria (Adaptado de Cui 2005 y Glicksman, 1969).

ORIGEN	GOMA	FUNCIONALIDAD
Celulosa y derivados	Carboximetilcelulosa	Espesante, estabilizante, suspensor de partículas.
	Metilcelulosa y derivados (Hidroxipropil-metilcelulosa)	Emulsificantes y estabilizantes de sistemas con bajo contenido de grasa.
Extracción de semillas	Galactomananas (goma guar, goma de algarrobo)	Agentes espesantes y estabilizantes.
	Glucomananas	Espesante, gelificante, retenedor de agua.
Extractos de plantas	Pectinas	Gelificante.
Exudados de plantas	Goma arábica	Emulsificante y estabilizador, encapsulador de sabor.
	goma tragacanto	Espesante y emulsificante.
Extractos de algas	Alginatos	Estabilizador de sistemas con alto contenido de calcio y bajo pH.
	Carrageninas	Estabilizador de productos lácteos.
	Agar	Gelificante.
Fermentación microbiana	Goma xantana	Estabilizante y espesante.
	Goma gelana	Gelificante
De origen animal	Quitina, quitosan	Gelificantes
Almidones de semillas	Maíz, Trigo, Arroz, sorgo	Espesantes y gelificantes
	Maíz ceroso, sorgo ceros	Espesantes
Almidones de tubérculos	Papa, tapioca	Espesante y estabilizante a altas concentraciones de calcio

### 1.2.1 Xantana

La xantana es un polisacárido natural de alto peso molecular producido por la bacteria *Xantomonas campestris* y se obtiene por un proceso de fermentación (Katzbauer, 1997). La

estructura primaria de la xantana consiste en un esqueleto de 1,4  $\beta$ -D-glucosa como la celulosa, pero cada dos unidades de glucosa está unida por un enlace  $\alpha$  1-3 a un trisacárido formado por dos manosas con un ácido glucurónico, esta estructura se puede apreciar en la Figura 1.3, la cual asume una estructura de tipo hélice dónde las unidades del trisacárido ramificado se posicionan paralelamente al eje en espiral lo que estabiliza a la estructura (Cui, 2005).

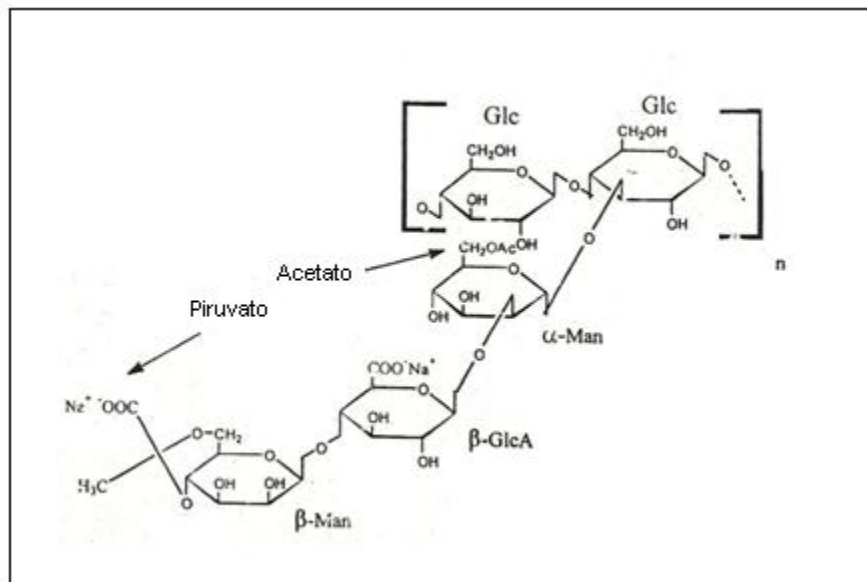


Figura 1.3. Estructura de la xantana (Dumitriu, 2005).

La xantana es usada extensamente en los alimentos por sus particulares propiedades que presenta en sistemas a base de agua y por la estabilidad que presenta a diversos factores como:

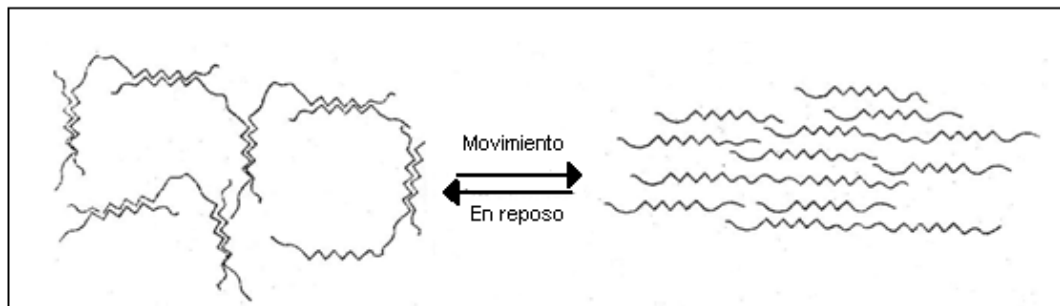
- Temperatura. Se disuelve en agua fría o caliente, siendo un óptimo para su dispersión una temperatura de 40°C; por lo que su uso no se limita a productos que conlleven un proceso térmico como la esterilización, pasteurización, refrigeración, congelación, entre otros (Katzbauer, 1997).

- pH. Su viscosidad es estable en sistemas con bajas o altas condiciones de pH, lo que ayuda a su utilización en productos ácidos como lo son los sistemas a base de frutas; dependiendo esta estabilidad solamente de la concentración que se utilice: conforme se aumenta ésta más estable será la solución, además no le afecta la presencia de sales en el medio (Imeson, 1997; Katzbauer, 1997).
- Enzimas. Es muy resistente a la degradación enzimática siendo muy común su uso en presencia de varias enzimas como la amilasa, pectinasa y celulasa (Katzbauer, 1997).
- Compatibilidad. Es compatible con incluso altas concentraciones de sales o azúcares que presentan algunos sistemas alimenticios, afectándose sólo por la concentración de estos solutos; conforme aumenta la concentración de sal y/o azúcar la viscosidad de la solución aumenta. De igual manera es compatible con otros hidrocoloides como el almidón, carrageninas, derivados de celulosa, gelanas y alginatos, así como con proteínas (Imeson, 1997).

Las soluciones de xantana son altamente viscosas y fluidificantes sin mostrar presencia de tixotropía, incluso a bajas concentraciones, lo que contribuye a la suspensión de partículas (Cui, 2005), al aumento de cualidades sensoriales como el sabor, garantiza el mezclado entre componentes y facilita el bombeo de los productos en los que se utiliza esta goma debido a las propiedades adelgazantes a la cizalla que presenta (Imeson, 1997).

Las propiedades de flujo de este hidrocoloide de presentar una alta viscosidad a velocidades de corte bajo y un fuerte carácter de adelgazamiento a la cizalla, acentuándose conforme aumenta su concentración, es resultado de la conformación semirígida de este polímero el cual es más sensible al corte comparado con una conformación al azar (Imeson, 1997). Este comportamiento se ilustra en la Figura 1.4, donde se observa que la estructura de las moléculas de la xantana en forma de hélice forman, en reposo, una red parecida a las de un gel débil que al ser sometidas a un esfuerzo, se alinean en dirección al flujo al que es sometido, siendo reversible este fenómeno ya que al cesar el esfuerzo las moléculas vuelven a alinearse en forma red incluso a concentraciones muy bajas (Cui, 2005; Imeson, 1997).

La xantana frecuentemente es usada en combinación con otros hidrocoloides debido a que presenta reacciones de sinergismo lo que ayuda a mejorar sus propiedades funcionales reduciendo los niveles de los hidrocoloides utilizados y con ello el costo que implica la utilización de varios de ellos (Katzbauer, 1997).



*Figura 1.4.* Comportamiento de las macromoléculas de la goma xantana en solución sometidas a flujo y en reposo (Imeson, 1997).

### 1.2.2 Almidones

El almidón es un polisacárido que se obtiene de tejidos vegetales como granos de cereales, tubérculos, frutas y varias legumbres (Pomeranz, 1991). Juega dos papeles dentro de los sistemas alimenticios, uno es como ingrediente nutricional y otro como agente texturizante (Eliasson, 2006). El almidón se encuentra en los tejidos vegetales en forma de gránulos compactos con estructura y tamaño característico de la planta del que proviene, su composición difiere de igual manera de acuerdo a su origen (Imeson, 1997).

Todos los almidones están conformados por dos moléculas principales, una conocida como amilosa y otra como amilopectina. Ambos son polímeros de unidades  $\alpha$ -D-glucosa, siendo las moléculas de amilopectina más grandes que la de la amilosa. La amilosa es una molécula lineal que consiste en unidades de anhidroglucosa conectadas por enlaces  $\alpha$ -(1-4) mientras que la molécula de amilopectina tiene un  $\alpha$ -(1-4)-glucano con una  $\alpha$ -(1-6) unida cada 20-26 monómeros dando una estructura ramificada (Imeson, 1997).

En la Figura 1.5 se muestra la estructura de la amilosa como un polímero de cadena lineal con unidades anidrogucosa unidas por enlaces  $\alpha$ -(1,4) (Imeson, 1997; Saunders, 1998). En los gránulos de almidón, este polímero está presente bajo forma cristalina, debido principalmente al gran número de enlaces hidrógeno existentes entre los grupos hidroxilo, dando esta molécula lugar al fenómeno de retrogradación. Por su naturaleza cristalina, la amilosa solo se hincha a altas temperaturas (Pomeranz, 1991). Las moléculas de amilosa contribuyen a la formación de geles, esto se debe a que sus cadenas lineales pueden orientarse paralelamente y acercarse entre sí lo suficiente como para formar uniones intermoleculares (Eliasson, 2006).

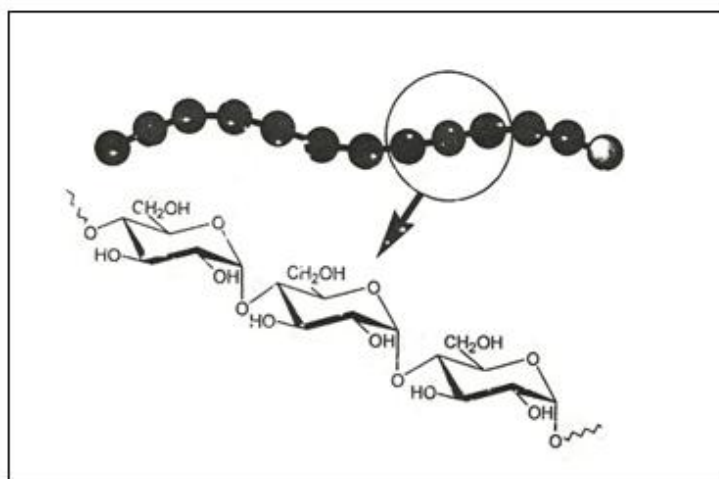
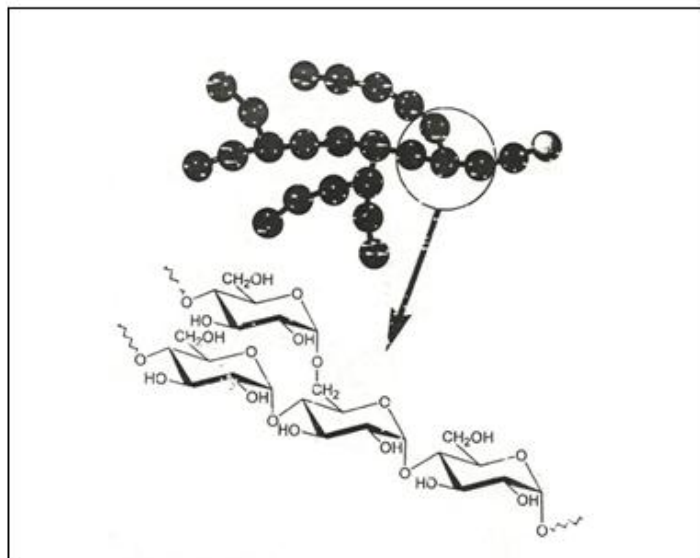


Figura 1.5. Estructura de la amilosa (Dumitriu, 2005).

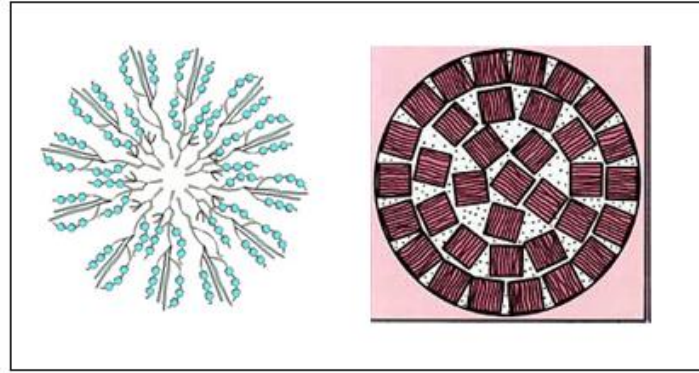
La molécula de amilopectina, como se muestra en la Figura 1.6, es similar a la de la amilosa, ya que también es una anidrogucosa con enlaces  $\alpha$ -(1,4) diferenciándose únicamente en que ésta tiene enlaces  $\alpha$ -(1,6) cada 20-26 unidades de monómeros, dando como resultado una molécula altamente ramificada (Imeson, 1997). Esta molécula no retrograda debido a que las ramificaciones que presenta no son lo suficientemente largas como para poder asociarse en reposo (Pomeranz, 1991). Las moléculas ramificadas de amilopectina dan viscosidad a la pasta cocida de almidón, esto se debe a que esta molécula mantiene el gránulo hinchado luego de la incorporación del agua, por lo que no se tiene la

obtención de geles debido a que las ramificaciones impiden estéricamente la unión entre las moléculas (Eliasson, 2006).



*Figura 1.6.* Estructura de la amilopectina (Dumitriu, 2005).

Internamente el gránulo de almidón se encuentra compuesto por dos regiones: la región cristalina y la región amorfa, las cuales se encuentran de manera alterna formando una estructura semiesférica formada por capas concéntricas, como se esquematiza en la Figura 1.7. En cada capa las moléculas de amilosa y amilopectina se encuentran entremezcladas y dispuestas de manera radial (Pomeranz, 1991). Cuando es posible, las moléculas lineales de amilosa y las cadenas laterales externas de la amilopectina se unen a través de puentes de hidrógeno formando micelas (áreas cristalinas). Estas micelas son las responsables de mantener el gránulo unido, permitiendo así el hinchamiento en lugar de la completa ruptura del gránulo y solubilización de las moléculas, durante el calentamiento de la suspensión acuosa, existiendo entre las zonas micelares y zonas amorfas (Eliasson, 2006).



*Figura 1.7.* Estructura semiesférica representativa del almidón (Fanelli, 2011).

### 1.2.2.1 Gelatinización y retrogradación

#### Gelatinización

Los gránulos de almidón son prácticamente insolubles en agua fría debido a su unión intramolecular, pero cuando se exponen a altas temperaturas (50-90 °C) se favorece la interacción en presencia de agua, absorbiendo los gránulos a ésta, hinchándose y perdiendo simultáneamente birrefringencia lo que provoca un incremento en la viscosidad, esto es a lo que se le conoce como proceso de gelatinización.

Este proceso se define como un colapso que sufren las moléculas de almidón presentándose una serie de cambios irreversibles en las propiedades del mismo como se muestra en la Figura 1.8 que esquematiza la evolución que va teniendo la gelatinización del almidón de maíz: la primera etapa de calentamiento (30°C) empieza con la adsorción superficial del agua disponible, conforme se incrementa la temperatura (40-65°C) lo hace también la adsorción existiendo además la ruptura de puentes de hidrógeno y se empieza a llevar a cabo la absorción de agua junto con la aglomeración de los gránulos formándose así una pasta de almidón cocida; al seguir el calentamiento (70°C) la amilosa sale del gránulo formando una dispersión coloidal y abriendo la estructura del granulo para finalmente alcanzar el grado óptimo de gelatinización (90°C) y el pico máximo de viscosidad (Cui, 2005; Eliasson, 2006; Pomeranz, 1991; Stephen y col., 2006).



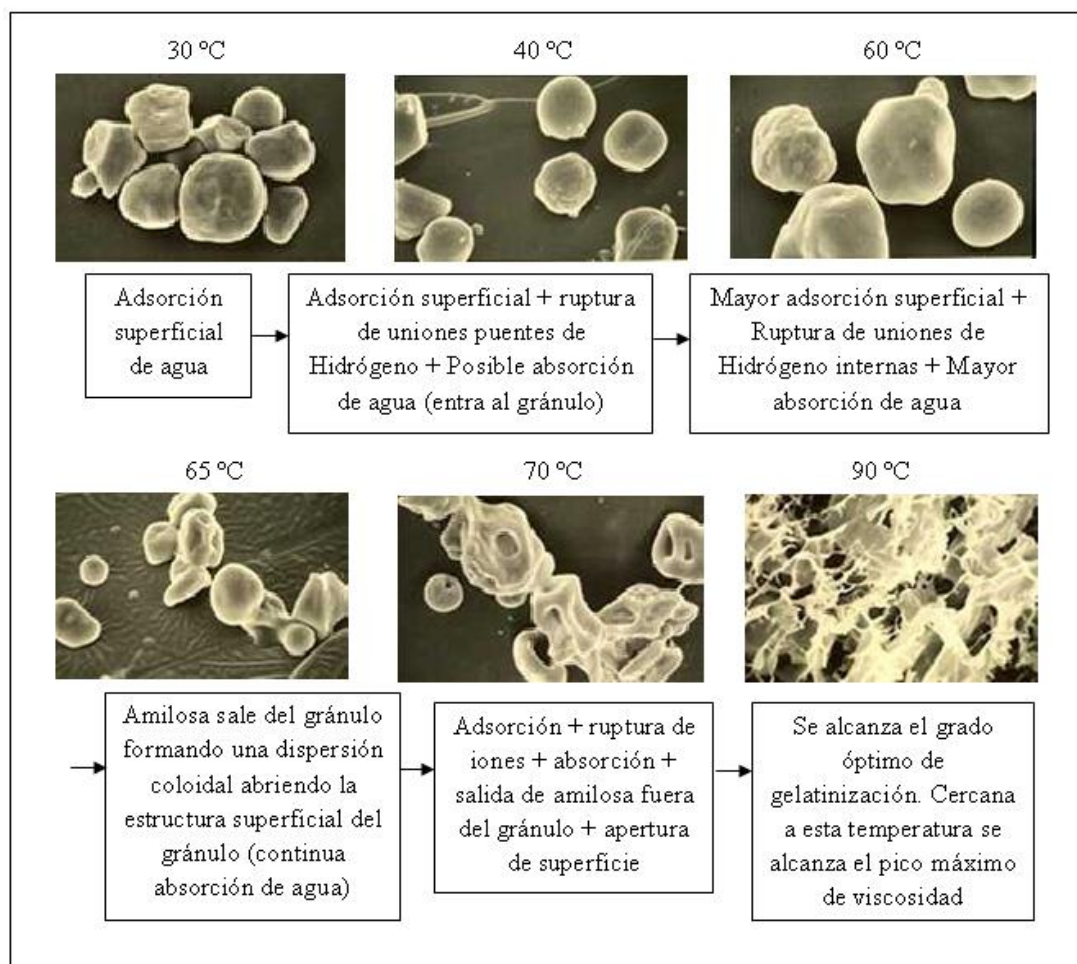


Figura 1.8. Gelatinización del almidón de maíz al 5% (Fanelli, 2011).

### Retrogradación

Los geles de almidón son muy sensibles a la agitación y a los cambios de temperatura como el calentamiento o enfriamiento a los que son sometidos los productos que contienen éste polisacárido. Se ha mencionado que la estructura cristalina del almidón se pierde con la gelatinización, sin embargo, puede volver a emerger posterior a este fenómeno, provocando una separación de fases por la pérdida de la capacidad de retención de agua, a este fenómeno se le denomina retrogradación. Estos cambios ocurren debido a que la gelatinización del almidón no tiene un equilibrio termodinámico y las moléculas de almidón se asocian de nuevo formando una estructura ordenada de doble hélice durante el almacenamiento (Cui, 2005; Eliasson, 2006).

Las condiciones en que ocurre la gelatinización y la retrogradación varían en tiempo y temperatura acorde a las características y requerimientos particulares de cada variedad de almidón (Stephen y col, 2006), viéndose esta diferencia reflejada principalmente en el punto inicial de gelatinización que depende además de la concentración del almidón; el tipo de gránulo, que va a definir también las condiciones en que debe ser hidratado ya que la relación amilosa-amilopectina que tiene cada gránulo es diferente siendo el valor más frecuente el de 25% amilosa y 75% amilopectina, sin embargo, existen almidones que son ricos en amilosa o por el contrario, están conformados en su totalidad por amilopectina (Eliasson, 2006). A esta variedad de almidones que poseen prácticamente amilopectina (90%) son los que se obtienen del arroz, maíz, sorgo y tapioca del tipo ceroso (Pomeranz, 1991; Saunders, 1998) que además presentan características y propiedades muy diferentes a las de las variedades normales de estos granos (Belton, 2007).

#### 1.2.2.2 Almidón de maíz ceroso

Esta variedad de almidón se extrae del maíz ceroso, que contiene 99% de amilopectina en su composición, siendo este almidón poco más estable que los que contienen amilosa (Wang y col., 2009). Los almidones normales desarrollan una estructura de gel cuando se enfrían después de gelatinizarlos, sin embargo los almidones del tipo ceroso no desarrollan esta estructura debido a que la amilopectina, como molécula ramificada, no retrograda debido a que sus ramificaciones externas no son lo suficientemente largas para asociarse y llegar a coagular, reduciendo la sinéresis del almidón al mínimo. En particular, este almidón gelatiniza con mayor facilidad debido a que carece de la región cristalina, teniendo así una temperatura de dispersión baja, formando pastas con textura líquida, cohesiva y pegajosa. Sin embargo presenta baja resistencia a esfuerzos de corte, a calentamientos prolongados y a medios ácidos (Dumitriu, 2005; Pomeranz, 1991; Wang y col., 2009; Wang y col., 2011).

Como agente funcional, dentro de la industria de alimentos, el almidón debe de resistir diversos factores como altos esfuerzos, bajos niveles de pH, altas y bajas temperaturas por los procesos y condiciones de almacenamiento y manejo al que son sometidos los diversos productos, es por ello que el almidón se modifica de su forma nativa de diversas maneras,

para que pueda brindar sus propiedades funcionales y mostrar estabilidad a todos estos factores (Eliasson, 2006).

### 1.2.2.3 Almidones modificados

Los almidones pueden modificarse de manera química o física. Dentro de las modificaciones químicas se encuentran la oxidación, entrecruzamiento, esterificación, eterificación y cationización; las modificaciones físicas pueden ser la pregelatinización, extrusión, tratamiento por hidratación térmica (Cui, 2005).

#### 1.2.2.3.1 Entrecruzamiento

Este proceso de modificación es un procedimiento químico que se realiza al almidón donde el gránulo es tratado para introducir enlaces entre las moléculas del almidón (Pomeranz, 1991; Singh y col., 2007), mediante la formación de enlaces covalentes que refuerzan los puentes de hidrógeno entre las cadenas adyacentes del almidón con agentes como fosforil clorados, trimetafosfato de sodio, ácido adipídico mezclado con anidridos, y mezclas de trimetafosfato de sodio con tripolifosfanidro, formando molecularmente cadenas ya sea de éter o ester entre los grupos hidroxilos de las moléculas de almidón (Cui, 2005). Estos enlaces mantienen sujeto al gránulo incluso durante su cocción (Singh y col., 2007).

El reforzamiento de los enlaces hidrógeno, con los que reacciona el almidón al momento de hidratarlo, se da porque los mismos agentes de entrecruzamiento restringen el hinchamiento del gránulo bajo condiciones de cocción, por lo que limita la gelatinización del almidón. Al reducirse la gelatinización no puede retrogradar con exceso de calentamiento y agitación, teniendo como resultado la estabilización del gránulo, previniendo con ello la pérdida de viscosidad, incluso en medios ácidos, e incrementando la resistencia a esfuerzos de corte (Acquarone y Rao, 2003; Branen y col., 1990; Pomeranz, 1991; Wishtler y col., 1984).

Los almidones con bajos niveles de entrecruzamiento muestran menos pérdida de viscosidad que los almidones nativos y conforme se va incrementando el número de enlaces, la pérdida de viscosidad se va reduciendo y el pico máximo de viscosidad se estabiliza, provocando a su vez que el rango de gelatinización e hinchamiento de los gránulos de almidón disminuya, sin embargo, un exceso de entrecruzamiento puede

restringir incluso el hinchamiento del gránulo ocasionando que no gelatinice perdiendo su viscosidad (Branen y col., 1990; Cui, 2005; Dumitriu, 2005; Wishtler y col., 1984)

Se ha reportado que el almidón de maíz ceroso entrecruzado suele tener un valor en su modulo elástico ( $G'$ ) similar al de las pastas de almidón del maíz normal, a pesar de que el almidón de maíz ceroso no modificado presenta valores de éste muy bajos (Eliasson, 2006).

#### 1.2.2.3.2 Pregelatinización

La pregelatinización es una forma física de modificar el almidón, que puede ser aplicada sola o en conjunto con otra modificación del tipo químico (Cui, 2005). Este proceso se lleva a cabo con la finalidad de eliminar la necesidad que tiene el almidón de ser calentado para desarrollar viscosidad, proveyendo con esto un agente espesante soluble en agua fría, manejándose el término de almidón pregelatinizado y/o precocido para los almidones que tienen ésta característica (Dumitriu, 2005).

Este proceso puede realizarse mediante el secado de rodillos, extrusión o pulverización, siguiendo los tres un mismo principio: se lleva al gránulo del almidón a una cocción previa mientras se aplica un tratamiento mecánico con el fin de romper parcialmente al gránulo (Chaudemanche y col., 2008). El proceso de obtención de este tipo de almidón consiste principalmente en el secado de la pasta de almidón que se lleva a su gelatinización para posteriormente secarla y molerla, como producto final se obtiene al almidón ya gelatinizado en un polvo (Chaudemanche y col., 2008). Con este tratamiento la integridad del gránulo se pierde y la viscosidad es reducida (Cui, 2005) así el almidón se puede disolver en agua fría proporcionando una textura suave con alta adhesividad y pegajosidad, siendo menos viscosos que los que no están pregelatinizados, dan también poco brillo, poca untabilidad (Whistler y col., 1984) y tienen buena estabilidad bajo condiciones ácidas, de cizallamiento, congelamiento, refrigeración y calentamiento (Pomeranz, 1991).

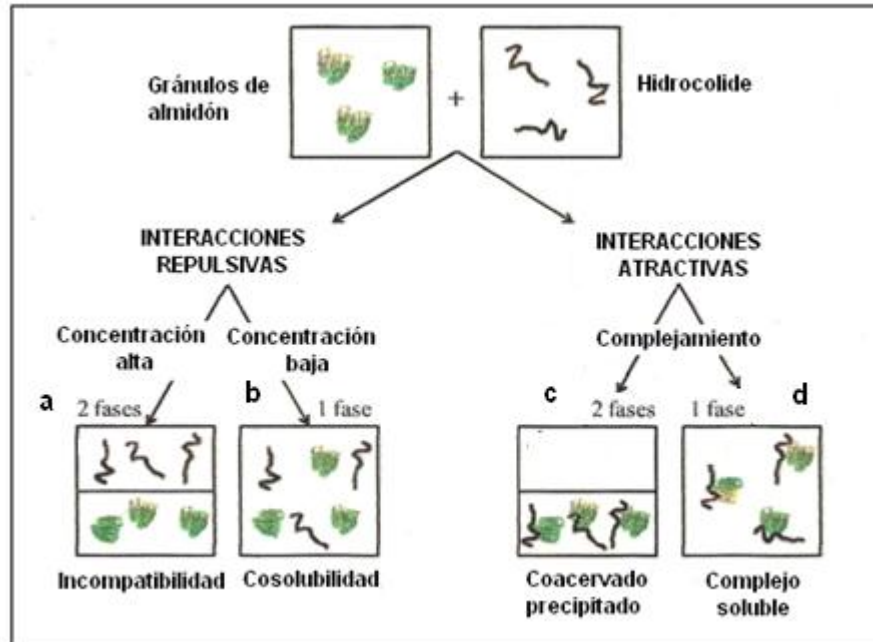
#### 1.2.2.3.3 Interacción polisacárido-polisacárido

Las propiedades funcionales de los hidrocoloides en fase acuosa, caen principalmente en los mecanismos fisicoquímicos que se presentan al momento de combinar unos con otros, tales como la gelificación y estabilización que resultan de las interacciones de las cadenas

moleculares con la superficie de las entidades dispersadas formando un equilibrio (Eliasson, 2006). Los polisacáridos pueden ser neutros como la celulosa y amilosa, o iónicos como la xantana, gelana y alginato, provocando que al momento de combinarlos existan interacciones entre ellos del tipo neutro-neutro, aniónico-aniónico y aniónico-neutro. La característica principal de los neutros es que dan rigidez, forman enlaces hidrógeno con el agua teniendo una solubilidad usualmente baja, mientras que en los iónicos la solubilidad se da por repulsiones electrostáticas (Dumitriu, 2005). Existen interacciones de atracción o repulsión interpretándose como efectos de sinergismo y antagonismo respectivamente, ejemplos de interacciones sinergistas de polímeros son xantana con galactomananas y k-carragenina con galactomananas (El-Nokaly y Soini, 1999).

La interacción entre dos polisacáridos involucra siempre a macromoléculas con cadenas largas las cuales pueden seguir varios mecanismos, a causa de los abundantes grupos hidroxilo presentes en la macromolécula, dando como consecuencia la creación de nuevas estructuras complejas (Figura 1.9 y 1.10).

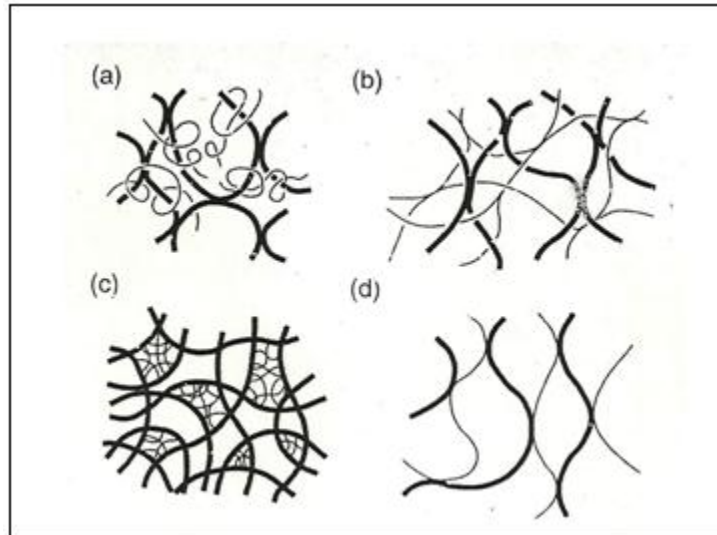
En la Figura 1.9, se esquematiza las interacciones electrostáticas que ocurren en las mezclas de polisacáridos las cuales pueden formar complejos solubles e insolubles como los que se forman en los sistemas proteína polisacárido (Annable y col., 1994): al combinar dos polímeros de cargas iguales, éstos no se asocian, en lugar de ello interaccionan repulsivamente presentándose segregación y el sistema se separa en dos fases líquidas cada una rica en cada hidrocoloide (Figura 1.9a), Wang y col. (2009) explica que este tipo de interacción puede ocurrir en el caso de la mezcla almidón de maíz ceroso con xantana; o bien, ambos polisacáridos pueden coexistir en el mismo sistema de manera individual (Figura 1.9b). Por el contrario, al asociar dos polímeros de cargas opuestas puede presentarse la formación de precipitado (Figura 1.9 c) formando complejos insolubles caracterizándose por una separación del sistema en dos fases, a la fase precipitada se le llama coacervado y al sobrenadante solución en equilibrio, o puede presentarse también la formación de estructuras (Figura 1.9 d) que conllevan a la característica de los geles (Annable y col., 1994; Glicksman, 1969).



*Figura 1.9.* Representación esquemática de las interacciones atractivas y repulsivas que se llevan a cabo al mezclar almidón con otro hidrocoloide. (Martínez, 2010 con lo referenciado en Abdulmola y col., 1996; Annable y col., 1994; Wang y col., 2009)

Las cadenas de los polímeros, como las del almidón, pueden inducir asociación entre las partículas coloidales generando dos tipos de floculación, por puenteo o agotamiento, ambas son promovidas por una conformación rígida e implican una pérdida de la entropía. De estos dos mecanismos de floculación la más acertada para decir que ocurre en la combinación almidón/xantana es la de agotamiento ya que sería la que promueve la asociación entre los gránulos de almidón (Abdulmola y col., 1996). En el caso de la combinación de almidón de maíz ceroso entrecruzado con xantana muestra en su reología un sinergismo que según Abdulmola (1996) puede manifestarse del mismo modo como en la combinación almidón/gelatina, que en lugar de la gelatina, la xantana potencializa las propiedades elásticas del almidón, que se traduce en un dominio de la reología de éste en un aumento del módulo elástico ( $G'$ ) debiéndose probablemente a que la xantana aumenta las interacciones adhesivas entre los gránulos hinchados del almidón.

Dentro de sistemas tipo gel existen cuatro posibles estructuras que forman la combinación de estos hidrocoloides, la estructura de la Figura 1.10a ocurre cuando sólo un componente se asocia para formar una red, la estructura de la Figura 1.10b representa cuando cada biopolímero se asocia para formar redes independientes que se cruzan entre sí denominadas redes interpenetradas, la estructura de la Figura 1.10c ocurre cuando ambos biopolímeros se mezclan interaccionando y formando geles en fases separadas, y cuando uno logra enlazarse con el otro entonces ocurre una estructura de red emparejada como la mostrada en la Figura 1.10d.



*Figura 1.10.* Modelos de posibles estructuras que forman geles combinar dos hidrocoloides: (a) La red de un polímero contiene al segundo polisacárido. (b) Interpenetración de ambas redes. (c) redes separadas por fases. (d) redes emparejadas. (Eliasson, 2006).

La interacción entre polisacáridos afecta principalmente la capacidad de retención de agua, la formación de películas, viscosidad y al desarrollo de cristales dentro del sistema (Dumitriu, 2005). La combinación entre hidrocoloides se realiza con la finalidad de complementar entre sí las propiedades reológicas y funcionales (Imeson, 1997). En particular la combinación de la goma xantana con almidones modificados se caracteriza por

incrementar la estabilidad en sistemas ácidos, con calentamiento o esfuerzos de corte, así mismo incrementa la resistencia a la disolución en medio acuoso (Sajilata y Singhal, 2005).

### **1.3 Reología y textura**

La reología y textura de los alimentos concierne a la descripción de las propiedades mecánicas que poseen dichos materiales bajo diversas condiciones de deformación (Kress-Rogers y Brimelow, 2001). El conocer estas propiedades, ayuda a predeterminar el comportamiento que tendrán los alimentos durante su manejo, ya que es la forma en que éstos responden a la aplicación de distintas fuerzas (Moskowitz, 1987).

#### **1.3.1 Propiedades mecánicas**

El comportamiento mecánico de un material es el reflejo de la relación entre la respuesta o deformación que tiene dicho material al aplicar una fuerza o carga, dicho comportamiento se traduce en las propiedades mecánicas que tiene un material (Mohsenin, 1996). Los estímulos con que es percibida la textura de los alimentos son predominantemente mecánicos, por consecuencia la mayoría de los métodos con los que se evalúan estas propiedades son del tipo instrumental, usándose las del tipo empírico e imitativo para evaluar la textura y las fundamentales para evaluar la reología de diversos materiales (Moskowitz, 1987; Rosenthal y Tech., 1999).

1. Pruebas empíricas. Miden la textura de los materiales bajo condiciones definidas. Son desarrolladas bajo experimentación y observación, pueden llegar a carecer de rigurosas bases científicas, pero son muy útiles para determinar la calidad del producto final (Rosenthal y Tech., 1999; Kress-Rogers y Brimelow, 2001).
2. Pruebas imitativas. Simulan las operaciones humanas, como la masticación y presión de los dedos, sobre los materiales para juzgar su comportamiento mecánico (Fuentes, 2003).
3. Pruebas fundamentales. Miden propiedades que son innatas en los materiales. Son pruebas rigurosas y los datos son expresados en unidades científicas determinadas



para propiedades físicas bien definidas como la viscosidad o modulo elástico. (Rosenthal y Tech., 1999; Kress-Rogers y Brimelow, 2001).

Las propiedades mecánicas pueden ser evaluadas por diversos métodos, dependiendo de la propiedad que se quiera evaluar. Existen otros tipos de pruebas que evalúan de igual forma la calidad de los alimentos, estas son las del tipo sensorial que se encuentran limitadas por la percepción única que tiene cada individuo hacia los alimentos. Es por ello que los métodos instrumentales son recomendados debido a que se tiene un mejor estándar y control de los resultados que uno espera obtener (Glicksman, 1969).

Para poder mover o deformar un material es necesario aplicar una fuerza sobre la superficie del mismo. Existen diferentes tipos de fuerzas que son aplicables a estos materiales para poder deformarlos:

- Fuerza normal. Es el tipo de fuerza que se ejerce perpendicularmente a la superficie y puede ser de tensión o compresión (Figura 1.11a). El esfuerzo normal es expresado en unidades de fuerza por unidad de área, y puede ser de igual manera del tipo tensiva o compresiva calculándose por la división de la magnitud que es aplicada entre el área inicial del material (Moskowitz, 1987).
- Fuerza de corte y esfuerzo. La fuerza de corte se aplica de forma paralela a la superficie dónde se ejerce (Figura 1.11b), el esfuerzo de corte es expresado en las mismas unidades que las del esfuerzo normal pero el área que se utiliza es la paralela a esta dirección (Moskowitz, 1987).
- Existen fuerzas combinadas que se presentan como se muestran en la Figura 1.11c dónde se desarrolla una fuerza de tensión y compresión como se presenta en el caso de las pruebas de rotación en reología (Moskowitz, 1987).

Los alimentos se presentan en una gran variedad de formas (Figura 1.12), pero se reducen a tres tipos en general: sólidos, líquidos y semilíquidos o semisólidos, presentando diferente comportamiento dependiendo de las propiedades mecánicas que posee cada uno (Roudot, 2004).

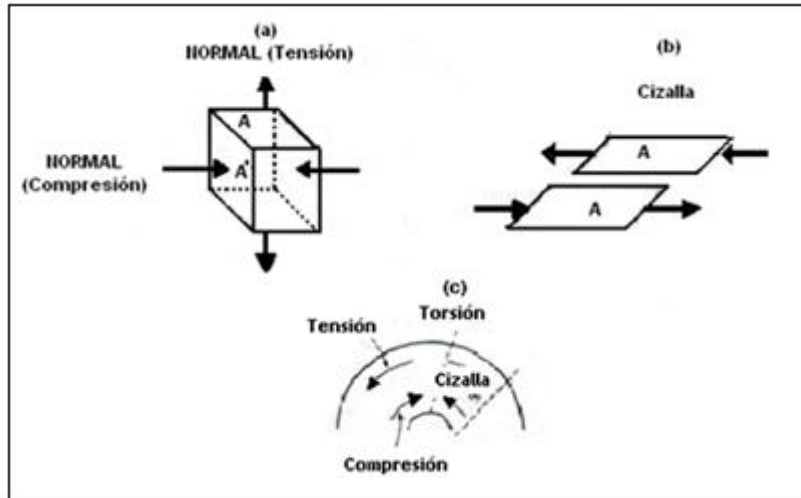


Figura 1.11. Tipos de fuerza que se ejercen a los materiales. (Moskowitz, 1987).

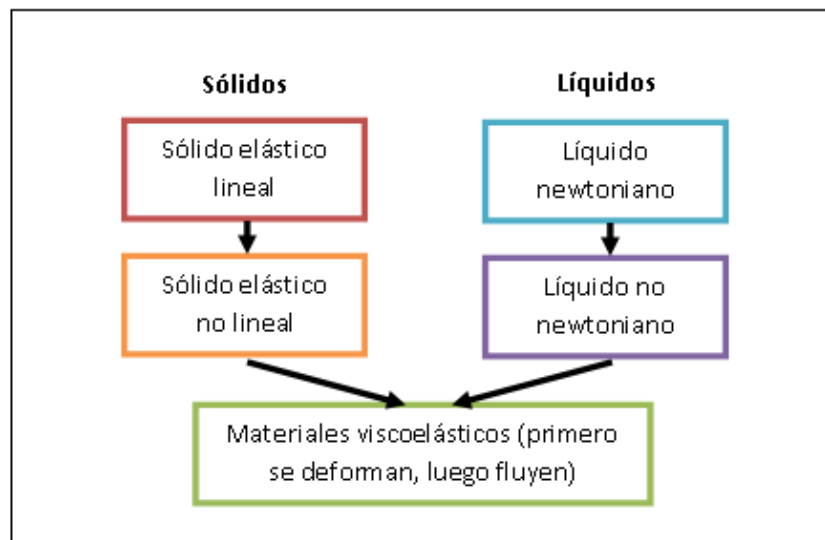


Figura 1.12. Clasificación de los materiales según su comportamiento reológico (Ajustado de Tscheuschner, 2001 con lo reportado en Roudot, 2004; Steffe, 1996; Mohsenin, 1996).

### 1.3.2 Reología de sistemas alimenticios

En particular la reología es la ciencia de la deformación y flujo de los materiales. Esto incluye el estudio de deformaciones elásticas y otros fenómenos que no necesariamente

están asociados con el flujo (Kress-Rogers y Brimelow, 2001). La materia es deformada, o empieza a fluir, únicamente cuando bajo ésta actúa una fuerza (Glicksman, 1969; Roudot, 2004).

Existen tres propiedades reológicas principales que caracterizan, en su mayoría, el comportamiento reológico de los materiales, estas son la elasticidad, viscosidad y plasticidad. Los sólidos se estudian con respecto a su elasticidad, los líquidos a su viscosidad y los semisólidos a su plasticidad (Roudot, 2004).

La fuerza que se aplica en este campo puede ser deliberada, accidentada o simplemente estar siempre presente en el entorno como en el caso de la gravedad. La reología concierne a fuerzas, deformaciones, tiempos e incluye también temperaturas y otros parámetros secundarios. Las medidas reológicas que se obtienen de estas deformaciones son expresadas con una curva de flujo para fluidos, curvas de elasticidad para sólidos y curvas de espectros mecánicos para semisólidos o semifluidos (Glicksman, 1969; Kress-Rogers y Brimelow, 2001; Morrison y Ross, 2002).

#### 1.3.2.1 Métodos de medición para reología de fluidos

El estudio del flujo provee información de la estructura interna de los sistemas líquidos. Los métodos que se utilizan para la medición de la reología de los fluidos y semi-fluidos, se encuentran agrupados en dos categorías principales: (1) aquéllos donde se aplica un esfuerzo a la muestra y la respuesta es la velocidad a la que se deforma, y (2) aquéllos donde se aplica una velocidad de deformación y la respuesta a medir es el esfuerzo; ambas pruebas se realizan en función del tiempo y/o de la temperatura (Morrison, 2002).

Para medir el comportamiento reológico de los materiales fluidos y semifluidos se utilizan instrumentos que realizan esta medición, los cuales reciben el nombre de viscosímetros y reómetros, siendo la diferencia entre éstos que el primero mide viscosidades y el segundo mide además los módulos de deformación ( $G'$  y  $G''$ ) (Morrison y Ross, 2002; Steffe, 1996) y se basan en métodos fundamentales de teorías físicas contrastadas en el dominio de estos materiales (Roudot, 2004). De igual manera, como se muestra en la Figura 1.13, estos instrumentos han sido clasificados en dos categorías principales: rotacional y tubo (Steffe, 1996).

Los sistemas rotacionales son útiles para determinar si existe un comportamiento de dependencia con el tiempo. Los instrumentos rotacionales efectúan dos tipos de pruebas dependiendo del material que se quiera caracterizar: las pruebas de cizalla estacionaria y pruebas oscilatorias (Steffe, 1996).

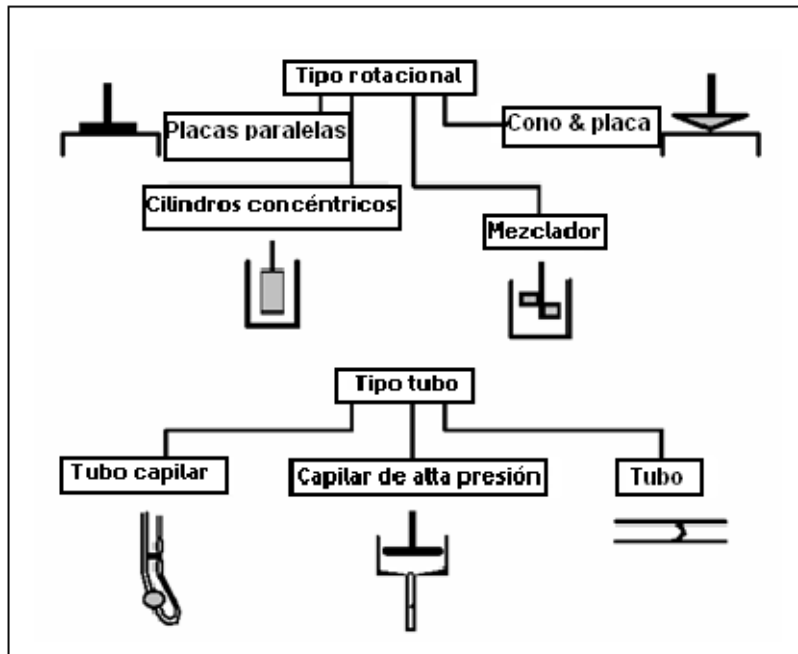


Figura 1.13. Instrumentos comunes para la medición de la reología de fluidos y semi-fluidos, divididos en rotacionales y de tubo (Steffe, 1996).

*Pruebas de cizalla estacionaria.* Son pruebas de cizallamiento rotacional continuo bajo moderados rangos de velocidades. Como se muestra en la Figura 1.14, el esfuerzo es aplicado de manera normal, generando una transferencia de movimiento entre capa y capa del sistema logrando que fluya en su totalidad. Este tipo de prueba ayuda a determinar las propiedades de flujo que presentan los fluidos, tales como el índice de consistencia ( $\kappa$ ), el índice de comportamiento al flujo ( $n$ ) y la viscosidad ( $\eta$ ) y se realiza bajo condiciones laminares de flujo en estado estacionario. El dispositivo más utilizado para esta prueba es el de cilindros concéntricos. (Steffe, 1996).

*Pruebas oscilatorias.* Son pruebas del tipo dinámicas que permiten conocer el comportamiento viscoelástico de un determinado material. Dicho comportamiento viscoelástico lo presentan materiales que poseen propiedades reológicas que son en parte viscosas y en parte elásticas, obteniendo los módulos de deformación  $G'$  característico de materiales sólidos y  $G''$  que caracteriza a materiales fluidos (Steffe, 1996).

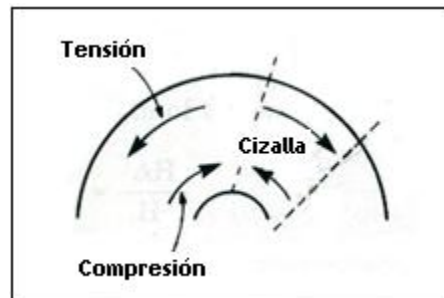


Figura 1.14. Prueba de cizalla rotacional en cilindros concéntricos (Roudot, 2004)

Para conocer el comportamiento al flujo que tienen los sistemas fluidos las condiciones a las que se realizan las pruebas de flujo pueden definirse en términos de velocidad de cizallamiento ( $\dot{\gamma}$ ) que representa la velocidad de variación de la deformación, expresándose en unidades de  $s^{-1}$  y la magnitud del esfuerzo aplicado ( $\tau$ ) como la fuerza por unidad de área expresado universalmente en Pa (Morrison y Ross, 2002), existiendo una proporcionalidad entre ambos mostrado en la ecuación 5. La Figura 1.15 esquematiza esta relación tomando en cuenta a un fluido que se encuentra contenido entre dos superficies paralelas, divididas por una distancia ( $d$ ) produciendo un gradiente de velocidades ( $V_y$ ) o bien, una velocidades de cizalla, al momento de aplicar un esfuerzo ( $F$ ) mediante el desplazamiento de una de las superficies, generando una constante de proporcionalidad denominada viscosidad ( $\eta$ ), la cual es independiente de la velocidad de cizallamiento y se expresa en unidades de Pa·s (Morrison y Ross, 2002; Roudot, 2004).

$$\eta = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad \text{Ecuación (5)}$$

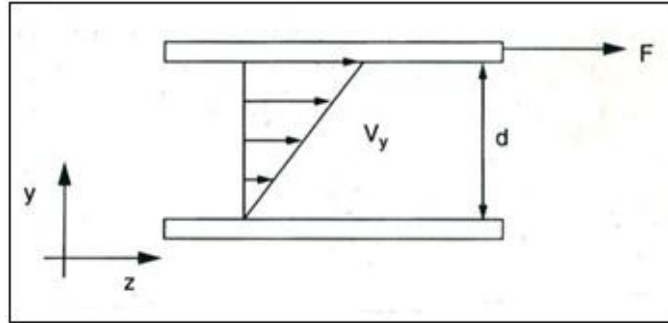


Figura 1.15. Definición de flujo y viscosidad (Roudot, 2004).

La viscosidad se considera como una medida de la fricción interna del fluido definida también como la resistencia que presenta un material a fluir, (Glicksman, 1969; Roudot, 2004). Cada fluido tiene diferente viscosidad que conlleva a su clasificación como se muestra en la Figura 1.16, dónde se destaca principalmente que existen fluidos que son puramente viscosos denominados también como no plásticos, y los que se comportan, a cierto nivel de esfuerzo, como sólidos elásticos (semifluidos) denominados como fluidos plásticos (Tscheuschner, 2001).

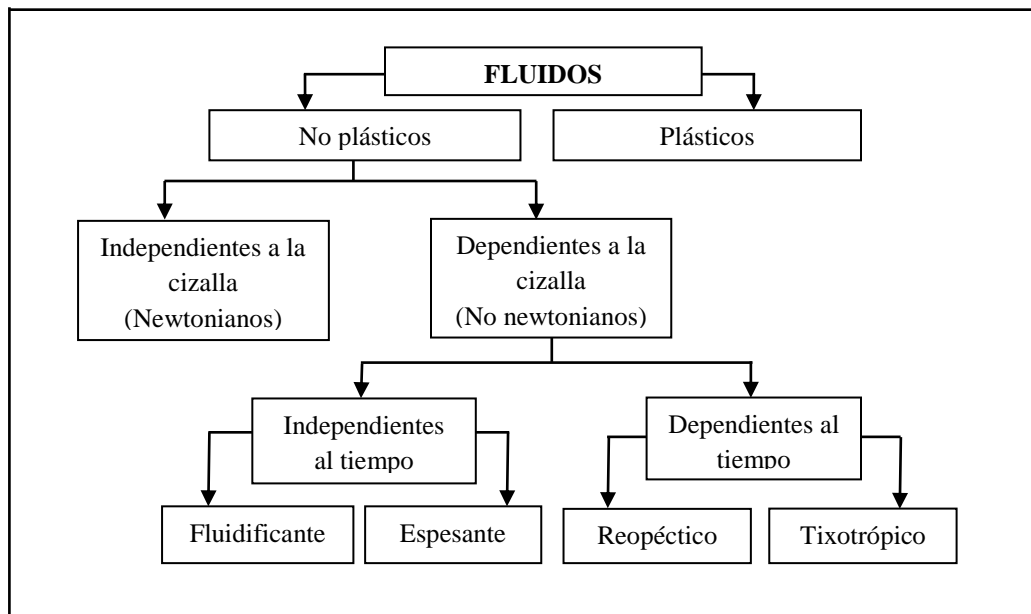


Figura 1.16. Clasificación de fluidos (adaptado a lo consultado de Braun, 2000; Kress-Rogers y Brimelow, 2001; Glicksman, 1969; Morrison y Ross, 2002; Tscheuschner, 2001).

### 1.3.2.2 Fluidos newtonianos

El prototipo del líquido perfecto es aquel que fluye ante un rango de esfuerzo de manera constante y proporcional a cada velocidad de cizalla, a este líquido ideal se le denomina fluido newtoniano. El cómo responden los diferentes fluidos al esfuerzo aplicado se le conoce como comportamiento reológico lo que permite la clasificación de estos materiales según distintas teorías propuestas por distintos autores (Glicksman, 1969; Morrison y Ross, 2002).

En sistemas newtoniano la viscosidad es constante, siendo por ello un solo valor de medición suficiente para caracterizarlo, sin embargo en sistemas alimenticios, la mayoría no obedece este comportamiento denominado como ley de Newton de la viscosidad, que dice que el esfuerzo de cizalla es proporcional a la velocidad de cizalla (Glicksman, 1969; Roudot, 2004), expresándose como lo muestra la ecuación 6.

$$\tau = \eta\dot{\gamma} \quad \text{Ecuación (6)}$$

Dónde  $\tau$  es el esfuerzo de cizalla (Pa),  $\eta$  la viscosidad (Pa·s) y  $\dot{\gamma}$  la velocidad de cizalla ( $s^{-1}$ ). Por lo tanto un fluido newtoniano es independiente del tiempo de aplicación del cizallamiento. Los fluidos que no obedecen esta ley se les clasifica en fluidos no newtonianos, dónde la viscosidad no es constante y puede ser dependiente de la velocidad de cizalla (Glicksman, 1969; Morrison y Ross, 2002).

### 1.3.2.3 Fluidos no newtonianos

Una gran cantidad de fluidos presentan desviaciones de la ley de Newton, la relación entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación deja de ser lineal provocando que la viscosidad de estos fluidos no permanezca constante cuando la temperatura y composición del material varían, dependiendo también del esfuerzo de cizalla y en ocasiones del tiempo de aplicación del esfuerzo (Glicksman, 1969). En este tipo de fluidos la viscosidad se define como viscosidad aparente,  $\eta_a$ , ya que es una viscosidad dada en valores de esfuerzo y velocidad de corte específicos (Rao, 1999). Los fluidos no newtonianos a su vez se clasifican en dos tipos:

- Fluidos independientes del tiempo.

Estos fluidos se clasifican en dos grupos principales: fluidificantes o adelgazantes a la cizalla y espesantes. Se caracterizan por que la viscosidad aparente sólo depende de la temperatura, de la composición del fluido y del esfuerzo de cizalla, pero nunca del tiempo de aplicación.

*Fluidos fluidificantes.* Se caracterizan porque su viscosidad aparente decrece cuando aumenta la velocidad de cizalla. Este comportamiento indica una ruptura o reorganización continua de la estructura (Figura 1.17), dando como resultado una menor resistencia al flujo y es debido a la presencia de sustancias de alto peso molecular así como a la dispersión de sólidos en la fase continua. Este sistema solo depende de la velocidad de cizalla y la temperatura, siendo reversible en cuanto las moléculas que se encuentran orientadas a favor del cizallamiento se desorientan de esta dirección conforme va cesando el esfuerzo aplicado (Glicksman, 1969).



Figura 1.17. Cambios estructurales que sufren los materiales fluidificantes (Glicksman, 1969).

*Fluidos espesantes.* La principal característica de este tipo de fluidos es que al aumentar la velocidad de cizalla aumenta la viscosidad aparente. Como se muestra en la Figura 1.18, este fenómeno se da por la reorganización de la fase dispersa del fluido. Cuando las velocidades de cizalla son bajas las partículas sólidas se encuentran muy pegadas entre ellas, haciendo que la fase líquida llene los espacios pequeños que existen entre ellas lubricando el movimiento de estas partículas, por lo que la viscosidad aparente es baja. Al



ir aplicando el cizallamiento, existe un empaquetamiento de las partículas dejando a la fase continua casi sin espacio y los huecos entre partículas dispersas aumentan, haciendo que conforme aumenta la velocidad de cizalla mayor turbulencia aparece y más difícil es el movimiento de la fase continua por dichos huecos, provocando el aumento de la viscosidad aparente. El espesamiento ocasiona un aumento en la resistencia al aplicar una fuerza (Morrison y Ross, 2002).

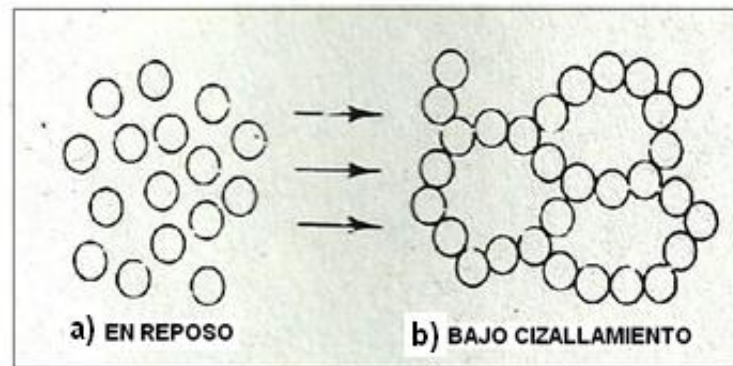


Figura 1.18. Cambios estructurales que sufren los materiales espesantes (Glicksman, 1969).

- Fluidos dependientes del tiempo

Son aquellos fluidos en que la viscosidad aparente depende, además de la velocidad de cizalla, del tiempo en que se aplica dicha velocidad. Los alimentos que presentan este tipo de comportamiento se subdividen en fluidos tixotrópicos y reopécticos (Braun, 2000).

*Fluidos tixotrópicos.* Se caracterizan porque al aplicarles una velocidad de cizalla constante, muestran una disminución del esfuerzo de cizalla y de la viscosidad aparente con el tiempo. Este cambio indica una continua ruptura o reorganización de la estructura dando como resultado una disminución de la resistencia al flujo (Roudot, 2004).

*Fluidos reopécticos o anti tixotrópicos.* Tienen un comportamiento al flujo contrario a los que presentan tixotropía, esto es, la viscosidad aparente aumenta con el tiempo en que el material es sometido a velocidades de cizalla. Los productos que presentan esta reopexía

son muy raros, sin embargo las suspensiones de almidón se caracterizan por presentar este comportamiento (Roudot, 2004).

El comportamiento al flujo que presentan los fluidos se describe de igual manera mediante modelos reológicos que consisten en curvas de flujo y ecuaciones características que describen dicho comportamiento (Braun, 2000). Cada fluido presenta tanto diferente curva de flujo como modelo reológico que lo caracteriza y diferencia de los demás, siendo los parámetros reológicos, como  $n$ ,  $\kappa$ ,  $\eta$ ,  $\tau$ ,  $\tau_0$ , etc. determinantes para describir las curvas de esfuerzo contra la velocidad de cizalla (Rao, 1999).

El Cuadro 3 muestra los diferentes modelos y ecuaciones matemáticas que describen a los fluidos más comunes, donde se aprecia que el modelo descrito para un comportamiento newtoniano es el que se mostró en la ecuación 6, siendo el valor de  $n$  siempre igual a la unidad, representando en la curva una pendiente con este valor, tal y como se muestra en la Figura 1.19. Cuando el valor de  $n < 1$  el fluido es adelgazante, y cuando  $n > 1$  el fluido se considera espesante (Rao, 1999), clasificándose así como fluido no newtoniano que se describe con el modelo de la potencia mostrado en la ecuación 7, donde  $\kappa$ , como el índice de consistencia, está dado en  $\text{Pa}\cdot\text{s}^n$ , y es la viscosidad dada a una velocidad de corte de  $1 \text{ s}^{-1}$ ; el exponente  $n$  como índice de comportamiento al flujo es adimensional y refleja también la proximidad a un comportamiento newtoniano (Rao, 1999).

$$\tau = \kappa\dot{\gamma}^n \quad \text{Ecuación (7)}$$

Existen fluidos que presentan una relación lineal entre el esfuerzo y velocidad de cizalla y además requieren de un esfuerzo de cizalla límite determinado para comenzar a fluir, este esfuerzo es llamado esfuerzo de deformación plástica o esfuerzo inicial ( $\tau_0$ ), denominándose a éstos como fluidos plásticos (Glicksman, 1969; Morrison, 2002). Este tipo de fluidos se describen con el modelo plástico de Bingham y es conocido como el fluido plástico ideal cuya ecuación se muestra en el Cuadro 3 y la curva de flujo característica en la Figura 1.19 (Morrison, 2002). Cuando la relación  $\tau/\dot{\gamma}$  no es lineal el fluido se sigue rigiendo con el modelo de la potencia pero considerando el esfuerzo inicial, convirtiéndose así la ecuación 7 en la ecuación 8, caracterizándose entonces con el modelo de Herschel-Bulkley, donde  $\dot{\gamma}$  es un valor puntual de la velocidad de cizalla dado en  $\text{s}^{-1}$ ,  $\tau$  es

el esfuerzo puntual dado en Pa,  $n$  es el índice de comportamiento al flujo,  $\kappa$  el índice de consistencia y  $\tau_0$  es el esfuerzo inicial dado también en Pa (Rao, 1999).

$$\tau - \tau_0 = \kappa(\dot{\gamma})^n \quad \text{Ecuación (8)}$$

Cuadro 3: Modelos reológicos descritos por las curvas de esfuerzo contra velocidad de cizalla (Rao, 1999).

ECUACIÓN	MODELO
$\tau = \eta\dot{\gamma}$	Newtoniano
$\tau = \kappa\dot{\gamma}^n$	De la potencia
$\tau - \tau_0 = \eta\dot{\gamma}$	Bingham
$\tau - \tau_0 = \kappa(\dot{\gamma})^n$	Herschel-Bulkley

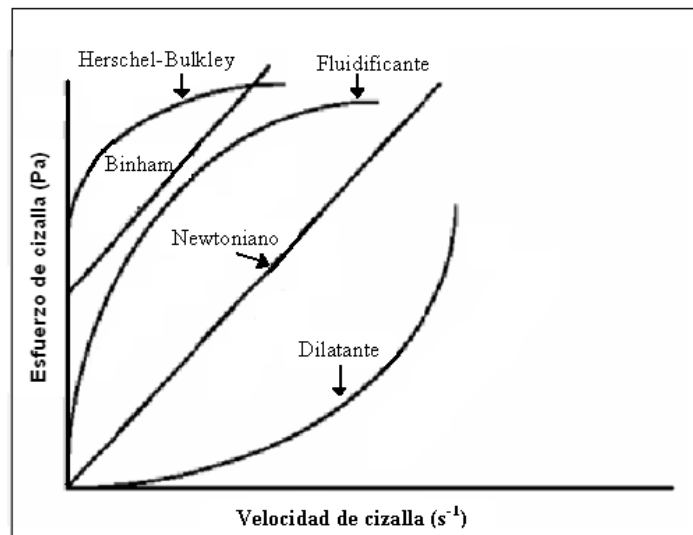


Figura 1.19. Clasificación de fluidos en relación al esfuerzo y velocidad de cizalla (Steffe, 1996).

Existen otros modelos que describen a los fluidos plásticos como el de Casson, Heinz, Jaki-Kryslova, etc; y a los viscosos (newtonianos y no newtonianos) como el de Ferry, Ellis, etc. (Tscheuschner, 2001), sin embargo no se abarcará en la descripción de los mismos ya que son modelos que caracterizan a materiales más complejos muy diferentes a los que son el objeto de este estudio.

#### 1.3.2.4 Factores que influyen en el comportamiento reológico

Existen varios factores que influyen en el comportamiento reológico de los alimentos, sin embargo, la temperatura y la concentración de partículas y/o polímeros de la muestra son los factores más importantes que determinan dicho comportamiento (Braun, 2000).

La temperatura tiene consecuencias importantes sobre el valor de la viscosidad ya que ésta puede variar en un 2% por grado centígrado (Roudot, 2004). En el caso de los sistemas dispersos se observa una disminución de la viscosidad al incrementar la temperatura debido a que la fricción interna desciende al mismo tiempo que se incrementa la temperatura (Morrison, 2002).

Al aumentarse la concentración de sólidos en un fluido, ésta incrementa la viscosidad o el índice de consistencia. También puede afectar otros parámetros como el esfuerzo inicial y el comportamiento al flujo haciendo que este último disminuya (Roudot, 2004).

#### 1.3.3 Textura de los alimentos

La textura de los alimentos está determinada por diferentes propiedades físicas y fisicoquímicas que poseen cada uno de ellos, y por la forma en que nuestro sistema sensorial lo perciba (Moskowitz, 1987). Por tal motivo la evaluación de la textura de los alimentos está basada en la realización de pruebas imitativas, empíricas y sensoriales que se caracterizan por recrear, de un modo experimental, la práctica real efectuada sobre los productos (Roudot, 2004).

Para la medición objetiva de la textura, se han ideado un número considerable de aparatos mecánicos, tales como tenderómetros, texturómetros, penetrómetros, consistómetros, etc., o bien, analizadores de textura que no son más que máquinas universales de ensayos que se

encuentran conectados a un sistema computacional que se encarga de registrar las fuerzas y desplazamientos que se desarrollan durante una determinada prueba (Moskowitz, 1987).

#### 1.3.3.1 Métodos de medición de la textura de los alimentos

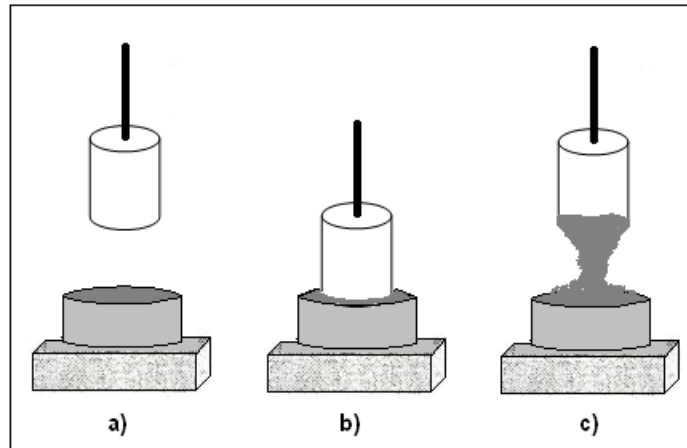
Las pruebas instrumentales de textura pueden ser normalizadas, no normalizadas o diseñadas por el mismo usuario, dependiendo de lo que se quiera medir al material y se fundamentan en base a:

- Empleo de dispositivos (placas, conos, agujas, cilindros, chuchillas, etc.)
- Modo de prueba: variable que se controla (fuerza, distancia, tiempo, volumen, entre otros).
- Tipo de prueba (compresión, tensión, cizalla, torsión, etc.).

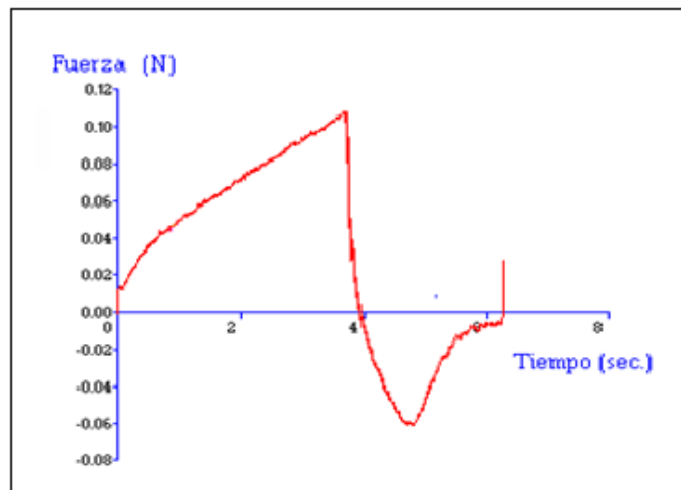
##### 1.3.3.1.1 Pruebas de adhesividad

Se realizan mediante la utilización de penetrómetros o analizadores de textura. La finalidad de esta prueba es penetrar o sumergir un dispositivo en el material de prueba, obteniendo parámetros de dureza, consistencia, adhesividad entre otros.

Una de las modalidades de la prueba de adhesividad consiste en aplicar una fuerza normal constante sobre la superficie del material (Figura 1.20) que se encuentra contenido en un recipiente con las dimensiones y cantidad conocidas, utilizando un cilindro de dimensiones también conocidas, durante un tiempo determinado con la finalidad de que la muestra se adhiera al dispositivo para posteriormente retirar el mismo a una velocidad alta hasta una cierta distancia para que obligue al material a despegarse del cilindro. Esta operación con ayuda de un software específico arroja una curva de fuerza contra tiempo como la que se observa en la Figura 1.21 muestra el ejemplo del tipo de gráfica que se obtiene de esta prueba.



*Figura 1.20.* Ejemplificación de la prueba de penetración para medir adhesividad de un material (Adaptado de Casas, 2009).



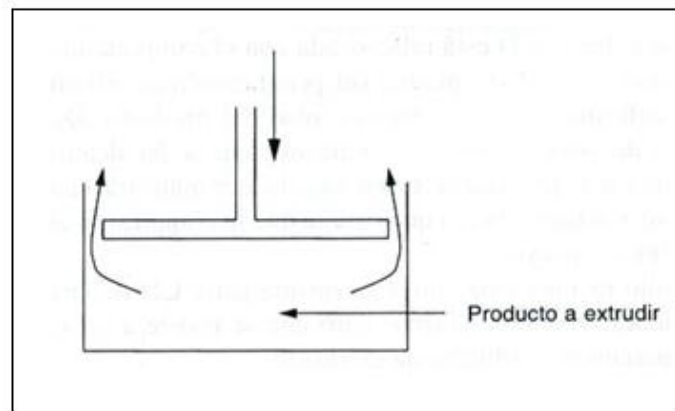
*Figura 1.21.* Gráfica típica de la prueba de penetración para materiales fluidos y semifluidos (Programa TEXTURE EXPERT).

De esta prueba se pueden obtener diversos parámetros que se relacionan estrechamente con la adhesividad de los sistemas como son: la fuerza de penetración, la resistencia a la penetración o dureza, el trabajo de penetración, la fuerza adhesiva, la adhesividad como tal y sus áreas respectivas a la cohesividad y adhesividad, entre otras. Los parámetros que se

obtengan de la gráfica correspondiente dependerán del enfoque que se le quiera dar a la prueba.

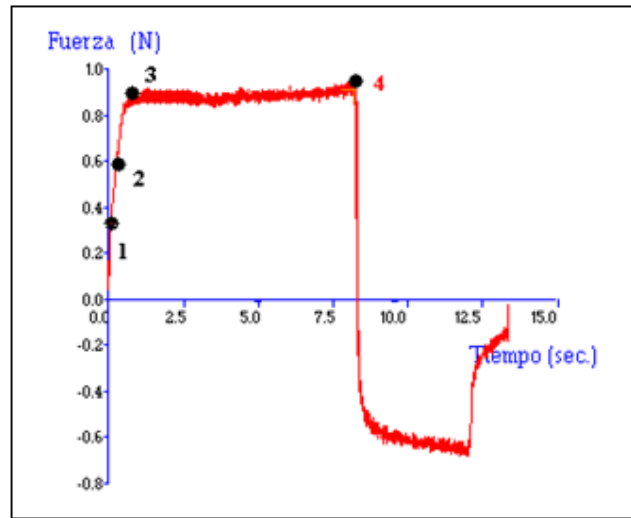
#### 1.3.3.1.2 Prueba de extrusión negativa

Este ensayo consiste en comprimir un determinado fluido que se encuentra contenido en un recipiente de forma cilíndrica con cantidad de muestra conocida, utilizando para ello un dispositivo en forma de placa circular con diámetro menor al del recipiente que contiene la muestra para presionar la superficie de la misma hasta que logre pasar por el espacio libre que se encuentra entre la placa compresora y el borde del recipiente tal y como se muestra en la Figura 1.22 (Roudot, 2004).



*Figura 1.22.* Principio de ensayo de extrusión negativa (Roudot, 2004)

De igual manera, esta prueba arroja una gráfica de fuerza en función del tiempo. La Figura 1.23 presenta un ejemplo de la curva obtenida en esta prueba, dónde se evalúan 4 puntos principales: del punto 1 al 2 indica la primer pendiente de la curva y se traduce como la resistencia a la extrusión que pone el material, el punto 3 indica el inicio de la extrusión que es cuando la placa atraviesa la superficie del material y comienza a penetrarlo, desde este punto al 4 se puede obtener la fuerza promedio que se necesita para que el material pueda ser extruido así como la fuerza máxima y el trabajo de extrusión.



*Figura 1.23.* Curva típica que arroja la prueba de extrusión negativa (Programa TEXTURE EXPERT).



## CAPÍTULO II

### METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

#### 2.1 Objetivos

##### Objetivo general

Evaluar el efecto del tipo de modificación del almidón de maíz ceroso entrecruzado (con y sin pregelatinización) y la concentración almidón/xantana sobre el comportamiento al flujo y consistencia de suspensiones con pulpa de fruta mediante pruebas rotacionales de cizalla, de textura y estabilidad.

##### Objetivos particulares

Objetivo particular 1: Establecer el efecto del tipo de almidón (almidón de maíz ceroso entrecruzado o almidón de maíz ceroso entrecruzado, pregelatinizado) en mezcla con goma xantana sobre el comportamiento al flujo y propiedades texturales en sistemas acuosos.

Objetivo particular 2: Establecer el efecto de la adición de pulpa de guayaba sobre el comportamiento al flujo, la textura y estabilidad de suspensiones elaboradas a partir de la mezcla almidón/xantana.

El desarrollo experimental que se llevó a cabo para este estudio se dividió en dos etapas. La primera fue para determinar el efecto sinérgico de la combinación de xantana con almidón de maíz ceroso entrecruzado y almidón de maíz ceroso entrecruzado y pregelatinizado, con el fin de evaluar el efecto que tiene el empleo de un mismo tipo de almidón con diferente modificación para seleccionar la combinación más adecuada a las características de un sistema fluido de baja consistencia. La segunda fue determinar si el contenido de sólidos de pulpa de fruta tiene efecto en la mezcla de hidrocoloides (Cuadro 4).

Cuadro 4: Cuadro resumen del diseño experimental

FACTOR DE VARIACIÓN	NIVELES DE VARIACIÓN	No. REP.	VARIABLE DEPENDIENTE	VARIABLE DE RESPUESTA	TÉCNICA E INSTRUMENTO DE MEDICIÓN
ETAPA 1 Concentración de polisacáridos y sus combinaciones	Xantana [0.2, 0.4]%	3	Esfuerzo de cizalla vs velocidad de cizalla	Comportamiento al flujo	Cizalla estacionaria: viscosímetro de cilindros concéntricos.
	AMCE [3, 5]%	3	Fuerza = f(tiempo)	Adhesividad	Prueba de penetración y extrusión negativa:
	AMCEP [3, 5]%	3		Consistencia	Analizador de textura
ETAPA 2 Formulación. Contenido de pulpa de fruta con la mejor combinación de la etapa 1	Pulpa de fruta [0,10, 25, 40 ]%	3	Esfuerzo de corte vs velocidad de corte	Comportamiento al flujo	Cizalla estacionaria: viscosímetro de cilindros concéntricos
Fuerza = f(tiempo)			Adhesividad	Prueba de penetración y extrusión negativa:	
pH del sistema			Consistencia	Analizador de textura	
			Vol. de separación de sólidos	Estabilidad	Medición de pH: Potenciómetro
					Estabilidad acelerada: Centrífuga clínica

## 2.2 Materiales y métodos

### 2.2.1 Preparación de pulpa de guayaba

Las suspensiones se prepararon con pulpa natural de guayaba que se extrajo de un mismo lote de guayaba de la especie *Psidium guajava L.* adquirida del Fideicomiso Central de Abasto de la ciudad de México ubicado en la delegación de Iztapalapa.

Las guayabas se seleccionaron tomando en cuenta que tuvieran el color amarillo y aroma característico de esta fruta y que a su vez no presentaran algún tipo de deterioro; se lavaron

a chorro de agua potable y se procedió a realizar un escaldado a 92 °C por 3 minutos (Figura 2.1). El proceso de extracción de la pulpa que se llevó a cabo se basó en el procedimiento general que según Barrett (2005) deben llevar las frutas durante su proceso, realizando una pasteurización batch con el fin de disminuir la actividad microbiana.

Una vez extraída la pulpa, se empaquetó en bolsas herméticas de polietileno para almacenarlas en un congelador marca Whirpool a una temperatura de -28 °C (Núñez, 2009), para poder utilizarla en cuanto se necesitara y no hubiera deterioro o contaminación por algún factor externo.

### 2.2.2 Preparación de fase continua

Se prepararon soluciones de goma xantana del proveedor Colloides Naturels de México S.A. de C.V. al 0.2% y 0.4% p/p; de almidón de maíz ceroso entrecruzado (AMCE) de Makymat, al 3 y 5 % p/p; y de almidón de maíz ceroso entrecruzado y pregelatinizado (AMCEP) del proveedor National Starch, al 3 y 5 % p/p.

Se determinó el porcentaje de humedad a cada uno de los hidrocoloides utilizando una termobalanza de marca OHAUS, modelo MB45, con la finalidad de conocer la humedad de cada uno los polisacáridos para calcular, mediante balances de materia, el peso del agua con la que se hidrataron estos hidrocoloides.

Para dispersar los polisacáridos se utilizó un agitador de propela marca Heidolph, modelo RZR1. La xantana se dispersó a una temperatura de 40°C a una velocidad de 100-500 rpm; el almidón de maíz ceroso entrecruzado se dispersó a temperatura ambiente y se calentó posteriormente hasta los  $77\pm 1$  °C, procurando que el aumento de temperatura no fuera mayor a un grado centígrado por minuto, para garantizar la gelatinización del gránulo; la dispersión de almidón de maíz ceroso entrecruzado y pregelatinizado se realizó a una temperatura de  $25\pm 1$  °C a una velocidad de 100-1000 rpm, dispersando el polvo de manera que se evitó la formación de agregados.

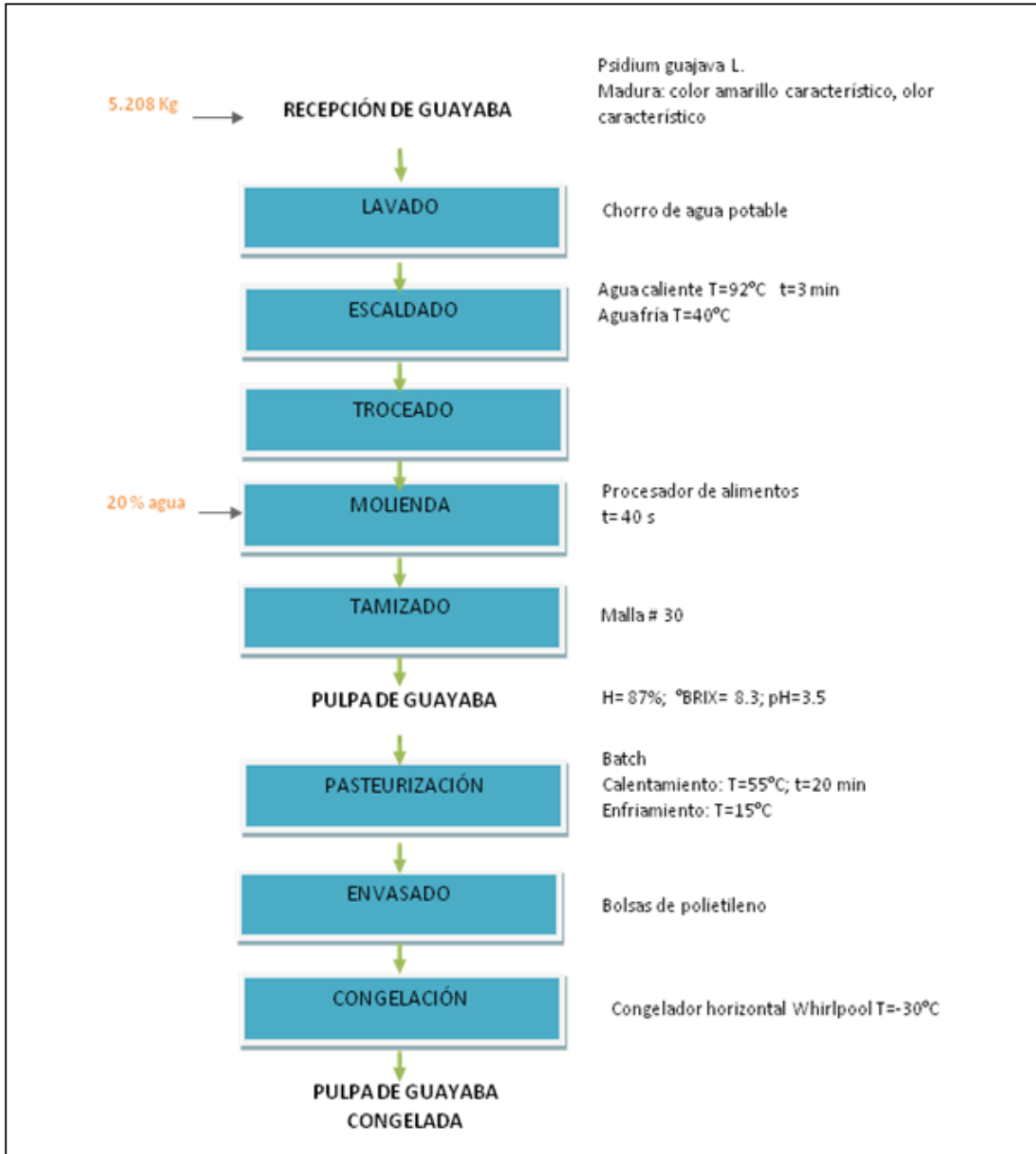


Figura 2.1. Diagrama de proceso para la extracción de la pulpa de guayaba.

En la preparación de la fase continua xantana/almidón, se dispersaron los polisacáridos por separado al doble de su concentración para mezclarlos posteriormente a una velocidad de 500-1000 rpm, hasta que se observó la desaparición de agregados. Este procedimiento evita que cada uno de los polisacáridos compita por el agua disponible, al dispersarlos por separado se garantiza que se encuentren bien hidratados al momento de mezclarlos.

Cabe destacar que de aquí en adelante los términos con los que se referirán a los almidones utilizados serán AMCE para el almidón de maíz ceroso entrecruzado y AMCEP para el almidón de maíz ceroso entrecruzado y pregelatinizado.

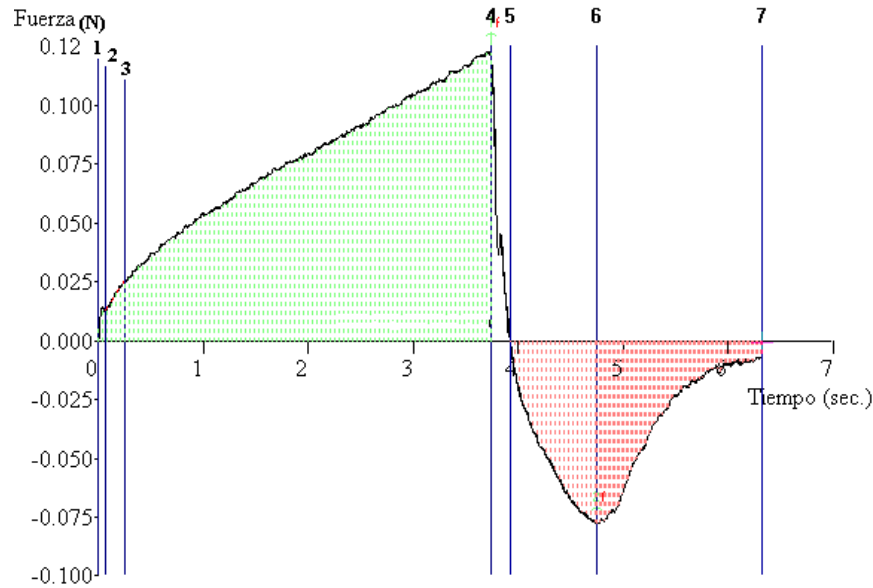
### 2.2.3 Pruebas de flujo

Se realizaron pruebas previas de cizalla estacionaria a la mezcla almidón/xantana para determinar las condiciones a las que se realizarían las pruebas de flujo. Como era de esperar el almidón proporcionó un comportamiento dependiente del tiempo al sistema, por lo que las pruebas de flujo que se realizaron a todos los sistemas tuvieron un precizamiento para poder estabilizar la muestra.

Para estas pruebas se utilizó un reómetro de la marca Physica, modelo MC1, empleando el sistema de medida Z3, utilizando el programa US200. La prueba consistió en tres intervalos: el primero corresponde a un cizallamiento a  $500 \text{ s}^{-1}$  por 1 minuto; el segundo a un descenso efectuado de  $500-5 \text{ s}^{-1}$  al que se llamó T1; y el tercer intervalo a un ascenso efectuado de  $5-500 \text{ s}^{-1}$  denominado T2. Las pruebas se realizaron a una temperatura controlada de  $24 \pm 0.5 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### 2.2.4 Pruebas texturales

La prueba de penetración se realizó en un analizador de textura marca Stable Micro Systems, modelo TA-XT2i. Utilizando una celda de carga de 5 Kg, una velocidad de preensayo de 2 mm/s, una velocidad de ensayo de 2 mm/s, una velocidad postensayo de 10 mm/s, una precarga de 0.5 g, con una distancia de retirada de 50 mm y con una penetración de 7.5 mm, utilizando un cilindro de acrílico de 1 in (2.54 cm) de diámetro. La muestra se colocó en cajas petri de 4.8 cm de diámetro procurando llenarla al ras y sin ninguna burbuja, para posteriormente realizar la prueba a las condiciones ya mencionadas por triplicado. La prueba se realizó a una temperatura de  $24 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ , utilizando para la medición de ésta un termómetro de mercurio. En esta prueba se analizaron los parámetros que describen la adhesividad que presenta el sistema, en la Figura 2.2 se observa la curva obtenida para esta prueba.



*Figura 2.2.* Curva representativa para las pruebas de penetración (Programa TEXTURE EXPERT).

Los parámetros texturales a evaluar fueron los siguientes:

- Fuerza de penetración. Equivale a la dureza que presenta el material, siendo el pico positivo máximo de la gráfica (punto 4) reportándose en N.
- Resistencia inicial de penetración. Es la resistencia que pone el material a la penetración por el dispositivo. En la curva equivale a la pendiente de los puntos 2:3 y se reporta en N/s.
- Trabajo de penetración. Es el trabajo aplicado para penetrar la distancia establecida. Equivale al área de los puntos 1:4 de la curva y se reporta en N·s.
- Fuerza adhesiva. Es la fuerza que se requiere para poder separar el dispositivo de la muestra, representando el pico máximo negativo de la curva (punto 6), reportándose en N.
- Trabajo adhesivo. Es el trabajo necesario para retirar el dispositivo del material. Representa el área entre el inicio de la retirada del dispositivo del material y el pico máximo negativo (punto 5:6) y se reporta en N·s.

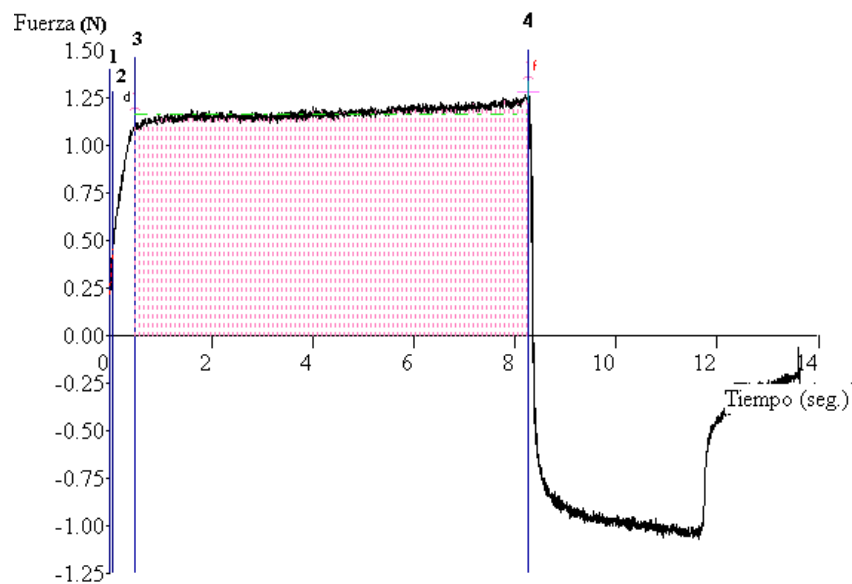
- Trabajo cohesivo. Es el área bajo la curva del punto 6:7 que representa el intervalo comprendido entre el pico máximo negativo y el término de la retirada del dispositivo. Este valor representa el trabajo que se requiere para vencer la cohesión del material. Su valor se expresa en N\*s.
- Estiramiento. Es la distancia comprendida de los puntos 5:7 y representa la distancia que el producto se extiende durante la retirada del dispositivo antes de romperse. Se expresa en mm.
- Adhesividad. Se define como el trabajo necesario para la separación de dos cuerpos que están en contacto. Es el área bajo la curva de los puntos 5:7 que representa la sumatoria del trabajo adhesivo y el trabajo cohesivo que comprende desde el inicio de la retirada del dispositivo sobre el material hasta el punto en que el mismo logra despegarse totalmente del material, siendo éste último punto cuando la fuerza llega a cero o se hace constante. Éste valor es reportado en N\*s.

La prueba de extrusión negativa se realizó en un analizador de textura marca Stable Micro Systems, modelo TA-XT2. Se utilizó una celda de carga de 5 Kg, a una velocidad de preensayo de 1 mm/s, una velocidad de ensayo de 3 mm/s y una velocidad de post ensayo de 5 mm/s, usando una precarga de 5 g, penetrando una distancia de 25 mm. El dispositivo utilizado fue una placa de acero inoxidable de 50 mm de diámetro junto con un vaso de acrílico de 53 mm de diámetro y una altura de 80 mm, teniendo así un espacio anular de 1.5 mm. La prueba se realizó pesando 60g de muestra dentro del vaso para posteriormente colocar la placa exactamente al centro y por arriba del recipiente al ras de la superficie de la muestra para proceder automáticamente con la prueba bajo las condiciones ya mencionadas, realizando cada prueba por triplicado a una temperatura de  $24\pm 1$  °C. La Figura 2.3 muestra el cómo se analizaron las curvas fuerza-tiempo que se obtienen de esta prueba.

Los parámetros que se obtuvieron para analizar la consistencia del sistema fueron los siguientes:

- Resistencia a la extrusión. Es la resistencia que pone por naturaleza el material a ser extrudido. Representa el valor de la pendiente de los puntos 1:2, su valor se reporta en N/s.

- Inicio de la extrusión. Es la distancia que penetra la placa hasta hacer que el material fluya por encima de ella, y se encuentra comprendida de los puntos 1:3. El valor se reporta en mm.
- Trabajo de extrusión. Es el área de los puntos 3:4 y representa el trabajo que se requiere para poder hacer fluir el material la distancia establecida. Su valor se reporta en N/s.
- Fuerza promedio de extrusión. Es el valor de la media de la fuerza aplicada durante la extrusión, y comprende los puntos 3:4, reportándose el valor en N.
- Fuerza máxima de extrusión. Representa el pico más alto en la curva durante el proceso de extrusión, esta fuerza se mide en N.



*Figura 2.3.* Curva representativa para la prueba de extrusión negativa (Programa TEXTURE EXPERT).

### 2.2.5 Prueba de estabilidad acelerada

Esta prueba está basada en la sedimentación de partículas que se presenta mediante la aplicación de una fuerza centrífuga, para determinar la estabilidad del sistema. Se utilizó



una centrífuga clínica de la marca DAMON/IEC Division. Se colocaron en tres tubos para centrífuga 10 ml de muestra, realizándose la prueba a la velocidad máxima que marca la centrífuga (velocidad 7), durante 50 minutos. Los resultados se reportan en porcentaje de volumen de las fases separadas.

#### 2.2.6 Análisis estadístico

Para los parámetros reológicos y texturales obtenidos en cada prueba de los hidrocoloides solos y los sistemas con pulpa se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de una sola vía, y para la mezcla de hidrocoloides un análisis factorial con la prueba de Tukey, utilizando el software Minitab 14. Ambos análisis se realizaron bajo un nivel de confianza del 95%.

## CAPÍTULO III

### RESULTADOS

#### 3.1 Pruebas de flujo

##### 3.1.1 Hidrocoloides solos

En la Figura 3.1 se muestran las curvas de flujo de xantana a las dos concentraciones empleadas. En éstas se aprecia el comportamiento fluidificante característico de esta goma tal y como se ha reportado en Katzbauer (1998) y Rodd y col. (2000). Dicho comportamiento se puede apreciar tanto en la concentración al 0.2% como a la de 0.4%, observando sólo una diferencia en el valor del índice de consistencia ( $K$ ), siendo mayor en la concentración correspondiente a 0.4%. Esta diferencia se muestra también en la Figura 3.4, donde la curva de viscosidad contra velocidad de cizalla de la xantana a una mayor concentración tiende a dar una mayor viscosidad corroborándose con los datos del Cuadro 5. Además, los resultados arrojados por el análisis estadístico (ANOVA) reflejan que sí existe una diferencia significativa en el valor de  $K$  al momento de aumentar la concentración.

El índice de comportamiento al flujo ( $n$ ) de esta goma se mantiene casi igual por la tendencia ya conocida de este hidrocoloide a fluir con mayor facilidad conforme se va aumentando la velocidad de cizalla, de hecho, el análisis estadístico no refleja una diferencia significativa en el valor de este parámetro al aumentar la concentración de esta goma.

A pesar de que Eliasson (2006) y Martínez y col. (2004) reportan que la xantana, a altas concentraciones, presenta un considerable esfuerzo inicial, bajo las condiciones de cizallamiento empleadas ( $5 - 500 \text{ s}^{-1}$ ), el comportamiento al flujo de xantana se describe

adecuadamente por el modelo de la ley de la potencia, cuyos valores de los parámetros reológicos se presentan en el Cuadro 5, sin presentar alguna dependencia con el tiempo.

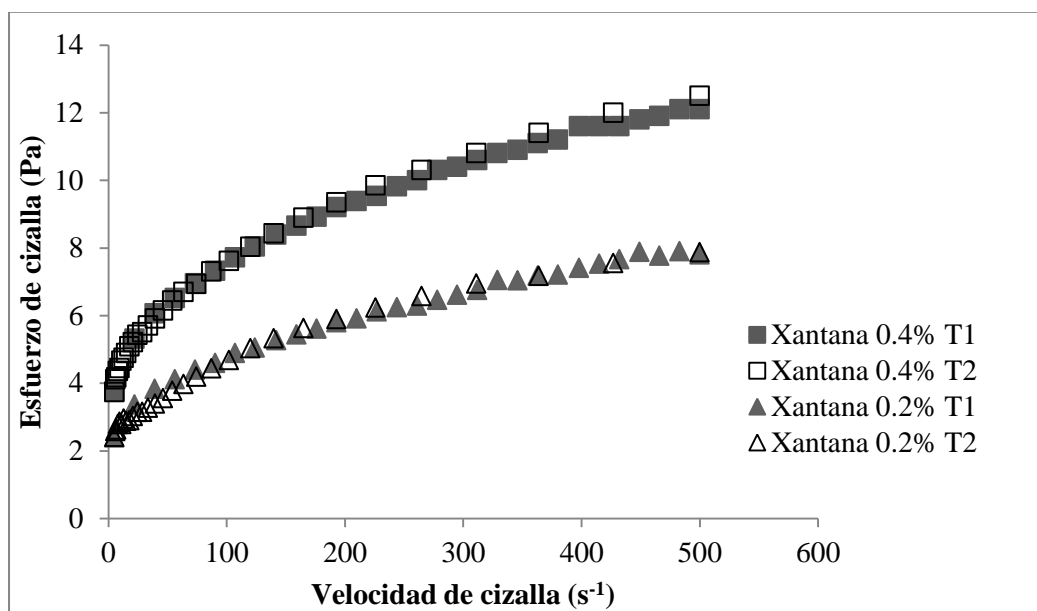
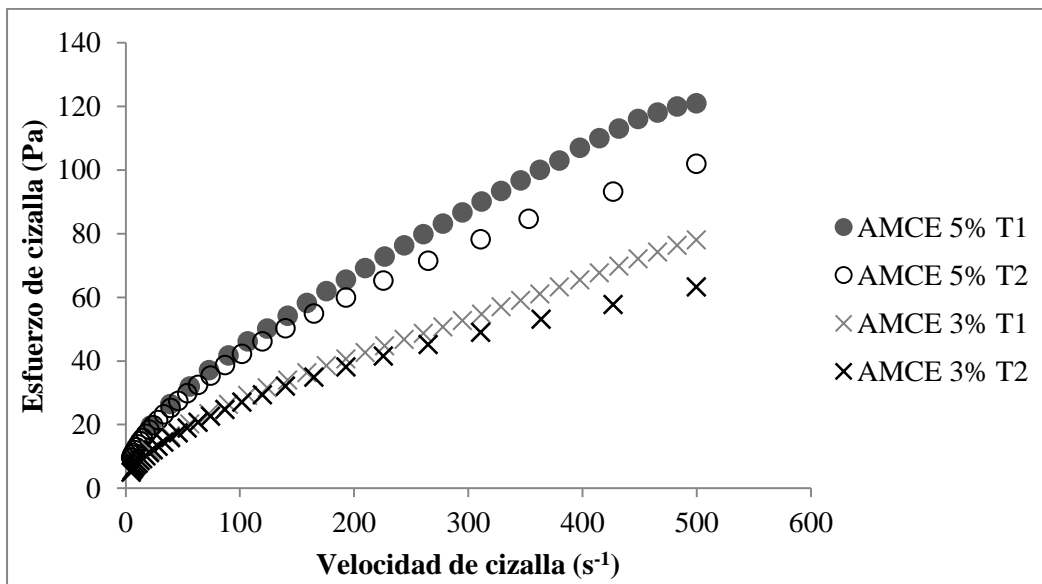


Figura 3.1. Curvas de flujo correspondientes a las dispersiones de xantana.

El almidón de maíz ceroso entrecruzado (AMCE) presentó un comportamiento tixotrópico a pesar del precizallamiento de la prueba (Figura 3.2), presentándose en la concentración del 3% a velocidades de cizalla mayores a  $200 s^{-1}$  y en el caso del 5% se observa este comportamiento a velocidades mayores de  $100 s^{-1}$ . Acquarone y Rao (2003) y Meng y Rao (2005) observaron, en contraste, una dependencia al tiempo antitixotrópica en un AMCE, atribuyéndoselo principalmente a los aglomerados que se presentan inducidos por el cizallamiento que se aplica, sin embargo, la preparación del almidón en estos dos estudios difiere de la del presente, lo que podría explicar el contraste del comportamiento al flujo que tiene el almidón ya que Wang y col. (2008) explican cómo la forma de preparar las dispersiones de almidón influye en el comportamiento que presentan incluso bajo las mismas condiciones de cizalla, utilizando en su estudio un almidón de maíz ceroso. Por lo antes mencionado los resultados reportados para las curvas de viscosidad y los datos de los parámetros reológicos son los de la curva T2 ya que aunque el AMCE no alcanzó el

equilibrio bajo las condiciones del precizallamiento, esta curva coincide con la de T1 al momento de realizar el ascenso, siendo la curva de T2 la que se encuentra más cerca del equilibrio.

Esta dependencia con el tiempo que presentó el AMCE se manifiesta a velocidades bajas de cizalla conforme aumenta la concentración, es decir, mientras con mayor contenido de almidón se trabaje más tardará en llegar al equilibrio el sistema, necesitando un tiempo de precizallamiento mayor. De igual manera que la xantana, bajo las velocidades de cizalla trabajadas, el modelo al que se ajusta este almidón es el de la ley de la potencia. El Cuadro 5 presenta los parámetros reológicos correspondientes.



*Figura 3.2.* Curvas de flujo correspondientes a las dispersiones del almidón de maíz ceroso entrecruzado.

En la Figura 3.3 se muestra que el almidón de maíz ceroso entrecruzado y pregelatinizado (AMCEP) no presenta dependencia con el tiempo bajo las condiciones de cizallamiento trabajadas, atribuyéndoselo posiblemente a que el gránulo se encuentra menos íntegro, ya que al tener un mayor tratamiento, se da también un daño estructural mayor evitando quizá

la formación de agregados. Las dispersiones de este almidón se ajustaron de igual manera al modelo de la ley de la potencia, presentándose los valores de sus parámetros reológicos en el Cuadro 5.

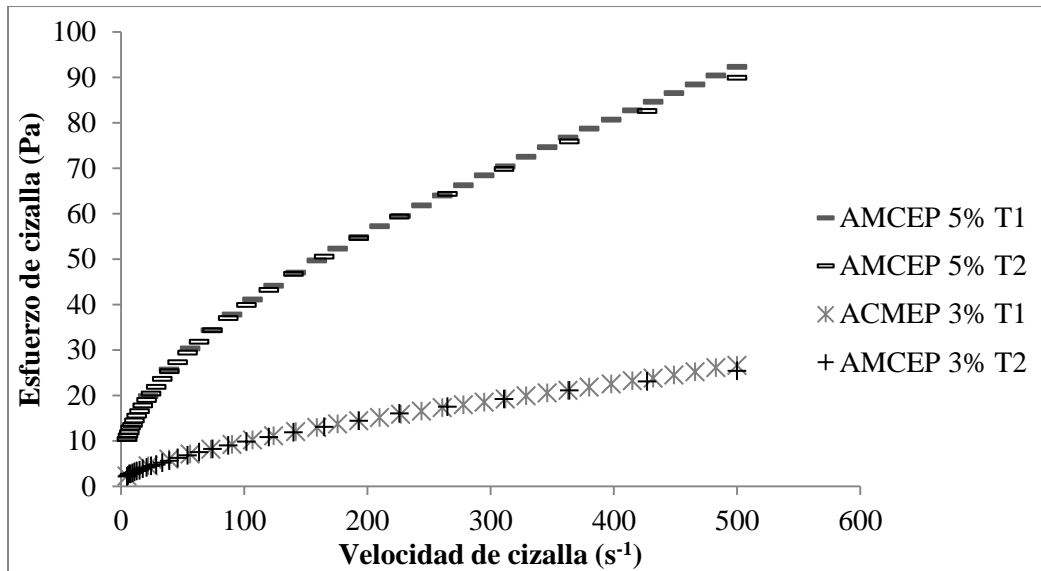


Figura 3.3. Curvas de flujo correspondientes a las dispersiones del almidón de maíz ceroso entrecruzado y pregelatinizado.

En la Figura 3.4 se muestran las curvas de viscosidad contra velocidad de cizalla, de cada uno de los hidrocoloides en fase acuosa, donde se observa que aparentemente el AMCE sobresale por ser más consistente que el AMCEP a la concentración del 5%, sin embargo esta diferencia es mucho más notoria con la concentración del 3%. El Cuadro 5 muestra que el valor del índice de consistencia del almidón que no está pregelatinizado al 5% es menor que el del almidón que sí está pregelatinizado a esa misma concentración. En esta misma figura las curvas del AMCE y AMCEP al 5% comparten valores de viscosidad en un intervalo de 5-102 s<sup>-1</sup>, pero conforme se incrementa el cizallamiento el primero muestra una mayor resistencia al cizallamiento, haciendo que su viscosidad sea mayor a la del AMCEP. Esto refuerza la teoría de que la estructura del gránulo del AMCEP ha sido modificada debido a la gelatinización previa que sufre durante su proceso, proporcionando

de esta manera una menor viscosidad que la que proporciona el AMCE (Cui, 2005; Singh y col., 2007).

Los valores de  $n$  de ambos almidones disminuyen conforme la concentración aumenta, sin embargo, es más la disminución que tiene el AMCEP, lo que señala que este almidón es más fluidificante que el almidón que no se encuentra pregelatinizado. Este comportamiento se puede observar perfectamente en la Figura 3.4 y al momento de comparar los valores de ambos almidones mostrados en el Cuadro 5.

Cuadro 5: *Parámetros reológicos de los hidrocoloídes a diferentes concentraciones.*

HIDROCOLOIDE	CONCENTRACIÓN (% P/P)	$K$ (Pa·s <sup>n</sup> )	$n$	$R^2$
Xantana	0.2	1.41 <sup>e</sup>	0.27 <sup>c</sup>	0.9872
	0.4	2.46 <sup>f</sup>	0.25 <sup>c</sup>	0.9888
Almidón de maíz ceroso entrecruzado	3	2.12 <sup>a</sup>	0.55 <sup>a</sup>	0.9999
	5	3.97 <sup>b</sup>	0.51 <sup>a</sup>	0.9978
Almidón de maíz ceroso entrecruzado y pregelatinizado	3	0.85 <sup>c</sup>	0.54 <sup>a</sup>	0.9948
	5	4.69 <sup>d</sup>	0.47 <sup>b</sup>	0.9984

Valores con el mismo superíndice son estadísticamente iguales con un nivel de significancia de 0.05 al aplicar la prueba de Tukey.

El análisis estadístico realizado refleja que la diferencia entre el índice de comportamiento al flujo,  $n$ , y el índice de consistencia,  $K$ , de cada hidrocoloide difiere de la siguiente manera: en el valor de  $n$  de la xantana a ambas concentraciones no tiene diferencia significativa, sin embargo esta goma sí difiere en este valor con los dos almidones empleados que a su vez no muestran diferencia significativa entre ellos, solamente el AMCEP al 5% es el que muestra una diferencia con los demás lo que refuerza la teoría de que el AMCEP es más fluidificante y más a una alta concentración; en el valor de  $K$  sí existe una diferencia completa entre cada polisacárido ya que los valores de este parámetro

son completamente diferentes entre cada hidrocoloide así como en el cambio de concentración de cada uno de ellos.

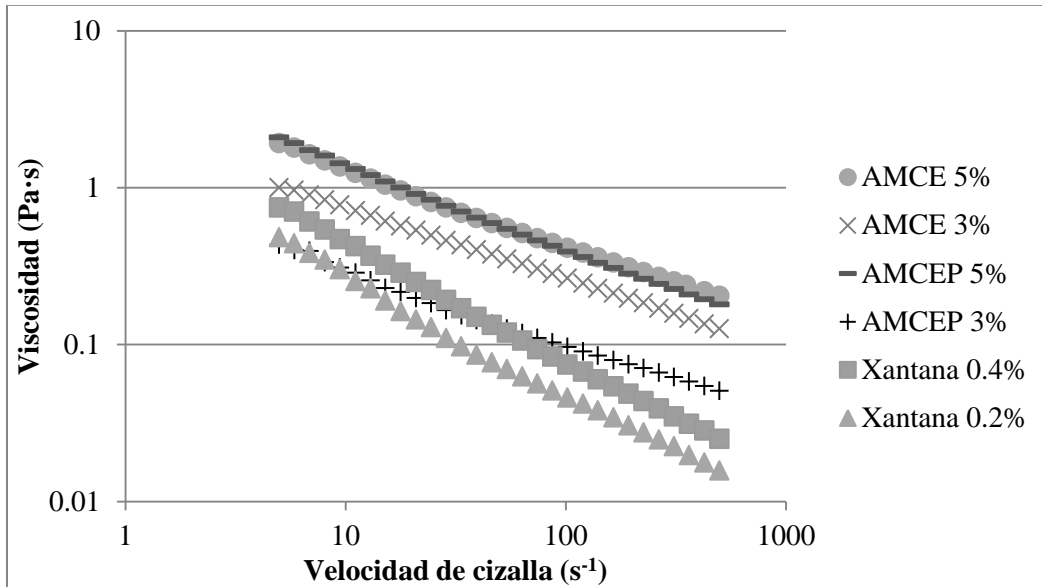


Figura 3.4. Curva de viscosidad de las dispersiones de xantana, AMCE y AMCEP a diferentes concentraciones.

### 3.1.2 Mezcla de hidrocoloides

La Figura 3.5a muestra las curvas de flujo en el tiempo uno (T1) y el tiempo dos (T2) de la mezcla de almidón de maíz ceroso entrecruzado con xantana, donde se observa que existe dependencia con el tiempo en las mezclas de 5% almidón con 0.2 y 0.4 % de xantana aún después del precizallamiento, reflejándose esta dependencia con el fenómeno de antitixotropía; las mezclas con el 3% de almidón no presentaron dependencia con el tiempo, lo que indica que si hubo algún tipo de dependencia con el tiempo, estas mezclas llegaron al equilibrio con el precizallamiento empelado, lo que refleja lo ya mencionado de mientras más concentración de AMCE se utilice mayor tratamiento previo necesita el sistema para llegar al equilibrio.

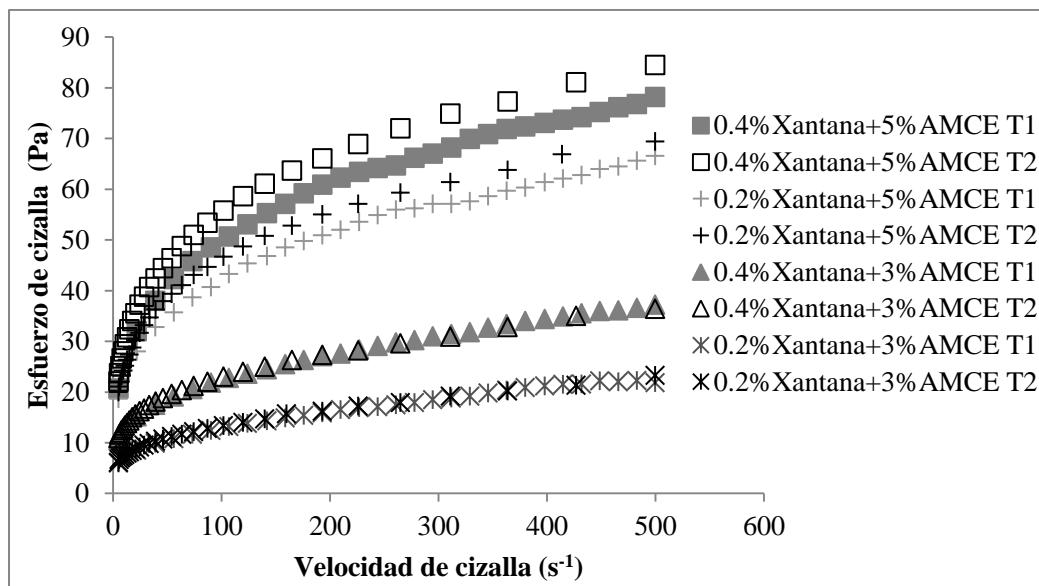


Figura 3.5a. Curvas de flujo correspondientes a las mezclas AMCE/xantana.

En la Figura 3.5b se muestran las curvas de viscosidad contra velocidad de cizalla, de las mezclas de almidón de maíz ceroso entrecruzado y xantana, dónde se observa que el cambio de viscosidad está dominado por la concentración del almidón, siendo las más consistentes las que contienen el 5%, corroborándose esto con los valores de  $K$  que se presentan en el Cuadro 6. Dichos valores de estas mezclas son parecidos, difiriendo únicamente en un 10%. Cabe mencionar que los valores de  $K$  en mezcla son considerablemente superiores que los que presentan los hidrocoloides por separado en fase acuosa existiendo un efecto sinergista reportado anteriormente por Abdulmola y col. (1996) entre ambos hidrocoloides. El análisis factorial realizado (Anexo 1) refleja que existe una interacción entre ellos ya que muestra un valor de  $P$  de 0.001 y que domina la consistencia del almidón debido a la mayor concentración empleada.

Las pendientes de cada curva mostrada en la Figura 3.5b presentan una tendencia muy similar, lo que se refleja en los valores de  $n$  que tiene cada curva mostrados en el Cuadro 6, que también son muy parecidos. El análisis factorial realizado refleja que sí existe una interacción entre ambos hidrocoloides en cuanto a esta propiedad (Anexo 1) y que la adición de xantana al almidón afecta al sistema ayudando a la formación de nuevas estructuras bajo condiciones de cizalla como los que se forman en los sistemas proteína



polisacárido (Annable y col., 1994) que según Wang y col. (2009) se presenta segregación y el sistema se separa en dos fases líquidas cada una rica en cada hidrocólido, por lo que se podría suponer que esta goma tiene efecto sobre el almidón, ya que al comparar los valores de  $n$  del almidón sólo en fase acuosa con los valores de las mezclas de almidón con xantana se observa un cambio al disminuir considerablemente el valor de éste al momento de mezclar ambos hidrocólidos. Posiblemente este comportamiento puede explicarse de la siguiente manera: las moléculas de xantana se alinean paralelamente en dirección al flujo, haciendo que las moléculas de almidón sigan la dirección de las moléculas de la goma al verse envueltas dentro de la estructura de dobles hélices que la caracteriza (Abdulmola y col., 1996).

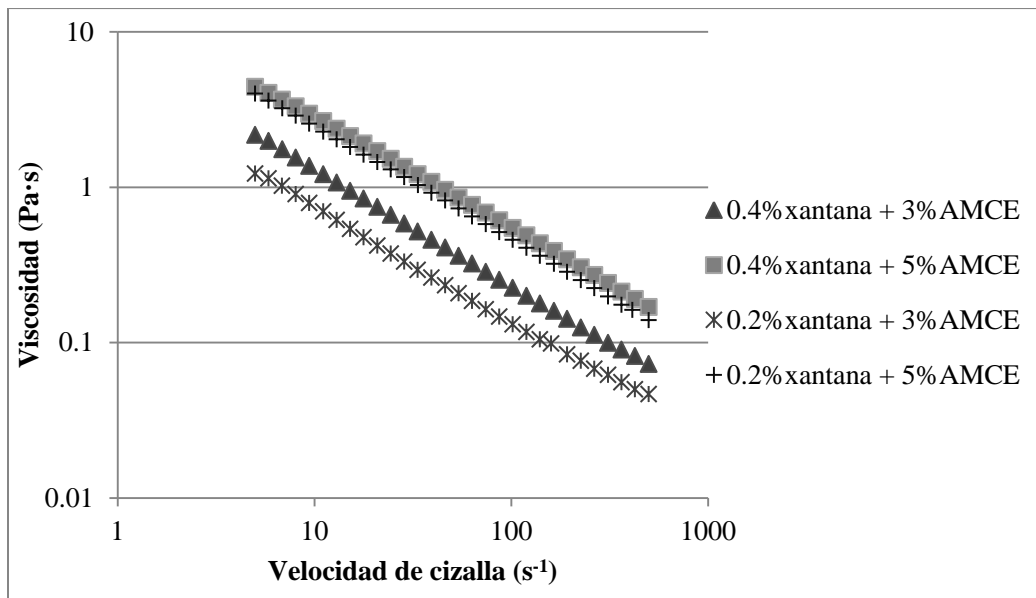


Figura 3.5b. Curva de viscosidad de las mezclas AMCE/xantana.

Acorde con lo demostrado por Wang y col. (2009), la xantana contribuye con la disminución del valor de  $n$  en los sistemas que contienen almidón, lo que se puede atribuir, como ya se mencionó, a la formación de dobles hélices. Observando las Figuras 3.6a y 3.7a, dónde se hace la comparación de las curvas de flujo de cada mezcla con los hidrocólidos por separado, y comparándolos con los valores mostrados en el Cuadro 7, se

observa que los valores de  $n$  del almidón, a cada concentración, disminuyen en cada mezcla con la xantana.

Cuadro 6: *Parámetros reológicos y modelo al que se ajustan las mezclas de almidón de maíz ceroso entrecruzado con xantana.*

MEZCLA	$K$ (Pa·s <sup>n</sup> )	$n$	$R^2$
Xantana 0.2% + AMCE 3%	3.93	0.27	0.9915
Xantana 0.4% + AMCE 3%	7.24	0.25	0.9978
Xantana 0.2% + AMCE 5%	13.25	0.27	0.9990
Xantana 0.4% + AMCE 5%	14.72	0.29	0.9982

En la Figura 3.6b se observa el cambio de pendiente de las curvas que corresponden al almidón, en cada concentración, aumentando el valor de la misma en éstas al compararlas con las curvas de las mezclas de los hidrocoloides, observando también que se alinean paralelamente con la curva de la xantana. Estas curvas de viscosidad contra velocidad de cizalla muestran también que las mezclas de almidón con xantana brindan una mayor consistencia que la que tiene el almidón sólo, sin embargo, el adelgazamiento a la cizalla es mayor. La mezcla que contiene el 3% de almidón se iguala en viscosidad a la velocidad de  $10 \text{ s}^{-1}$  con la curva del almidón al 3%, mientras que la que contiene la del 5% se iguala con la curva del almidón solo al 5% a una velocidad de  $100 - 190 \text{ s}^{-1}$ .

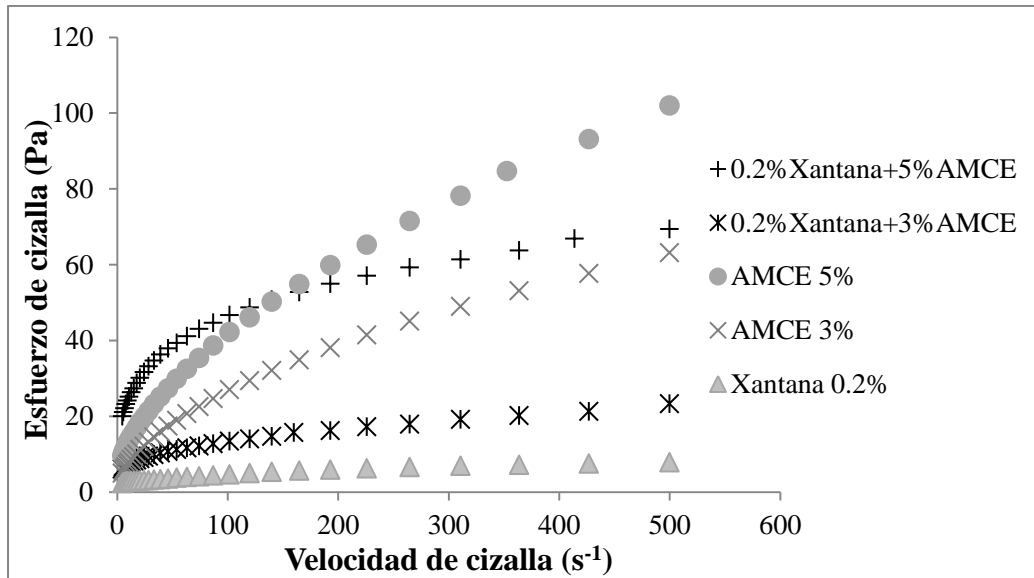


Figura 3.6a. Curvas de flujo correspondientes a las mezclas de AMCE con xantana al 0.2% en comparación con los hidrocoloides solos.

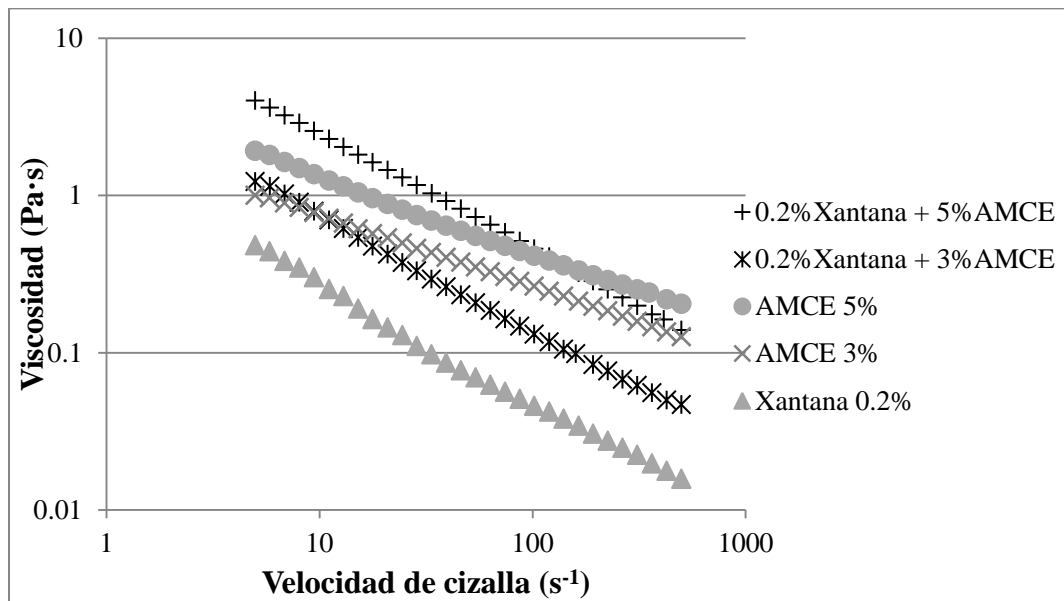


Figura 3.6b. Curva de viscosidad de las mezclas de AMCE con xantana al 0.2% en comparación con los hidrocoloides solos.

Al hacer el comparativo de las curvas de flujo de las mezclas de xantana al 0.4% con el AMCE al 3 y 5 %, como lo muestra la Figura 3.7a, se observa la misma diferencia entre curvas al cambiar la concentración del almidón que la que presentó con la xantana al 0.2%. Conforme se aumenta la concentración del almidón el valor de  $K$  entre cada mezcla aumenta, tal y como se muestra en los Cuadros 6 y 7, siendo este aumento de en un 200% mientras que con xantana al 0.2% el aumento es de un poco más del 300%. Este sistema sigue siendo fluidificante por la tendencia que tienen las curvas de las mezclas de ser más susceptibles a la cizalla que el almidón sólo, tal y como se observa en la Figura 3.7a, sin embargo los valores obtenidos de  $n$ , mostrados en los cuadros 6 y 7, muestran un cambio muy ligero y no permanecen constantes como lo mostrado con la mezcla que contiene 0.2% de xantana.

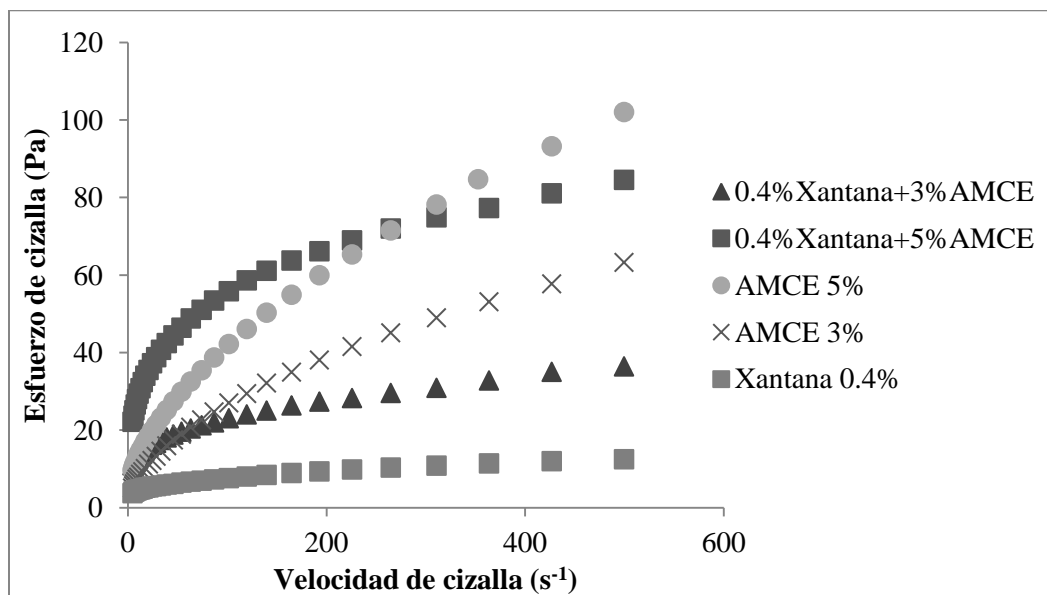


Figura 3.7a. Curvas de flujo correspondientes a las mezclas de AMCE con xantana al 0.4% en comparación con los hidrocoloides solos.

La Figura 3.7b muestra las curvas de viscosidad de las mezclas de almidón con 0.4% de xantana, observándose el mismo cambio en la pendiente de las curvas del almidón a las de las mezclas, alineándose de igual manera con la curva de xantana. En esta figura se aprecia

que el cruce de las curvas de la mezcla que contiene el 3% de almidón con la del almidón sólo al 3%, se da a una velocidad de cizalla de  $40 \text{ s}^{-1}$ , mientras que a una  $200 \text{ s}^{-1}$  se da el cruce de la mezcla que contiene el 5% de almidón con la del almidón solo al 5%. Incluso la curva de la mezcla que contiene el 3% de almidón parte desde el mismo valor de viscosidad que la del almidón al 5%.

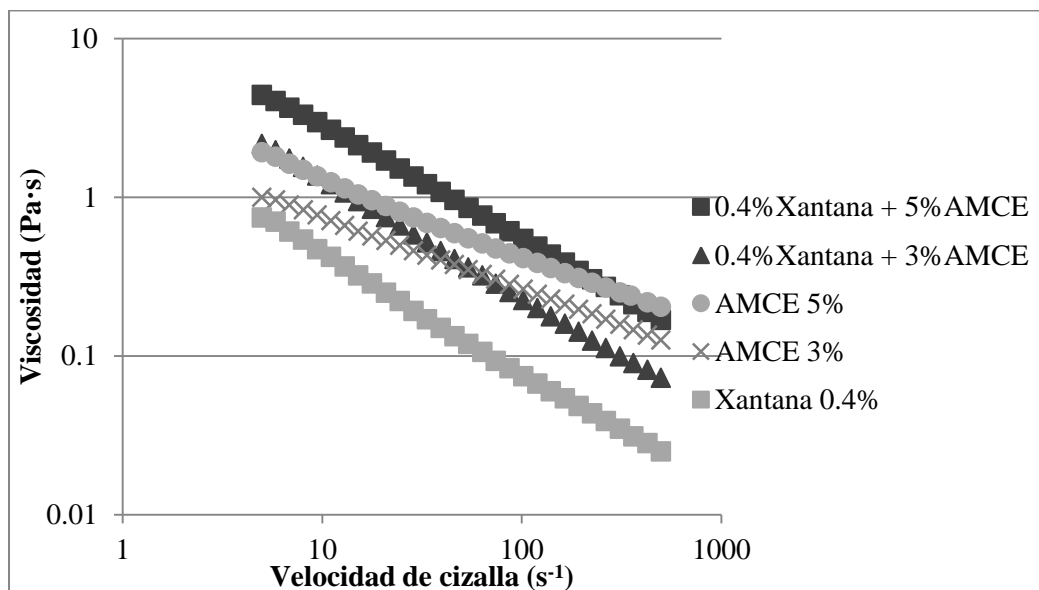


Figura 3.7b. Curvas de viscosidad de las mezclas AMCE con xantana al 0.4% en comparación con los hidrocoloides solos.

Al comparar las mezclas de xantana y AMCE se observa que la tendencia es similar, ambas mezclas, con 0.2 y 0.4 % de xantana, cambian considerablemente el comportamiento al flujo del almidón al mezclarse con esta goma, sin embargo, las cuatro mezclas se siguen ajustando al modelo de la ley de la potencia bajo las condiciones de cizalla trabajadas.

Conforme se va aumentando la concentración de almidón, más consistente va siendo el sistema, incrementándose aún más si la concentración de xantana aumenta también, lo que refleja un efecto sinergista para esta propiedad. El índice de comportamiento al flujo se mantiene similar al de la xantana, por lo que los cuatro sistemas son fluidificantes. Las

mezclas con mayor concentración de almidón presentan dependencia con el tiempo en forma de anti tixotropía, posiblemente las moléculas del almidón son arrastradas por las moléculas la xantana al momento de ejercer un cizallamiento, resistiéndose las moléculas del almidón al principio presentando un valor de  $K$  y viscosidad mayor que las que presentó el almidón sólo pero que conforme aumenta la cizalla vencen las fuerzas hidrodinámicas de la xantana sobre las del almidón, influyendo sobre la agregación de los gránulos de almidón que es lo que explica el comportamiento tixotrópico de este último.

Cuadro 7: *Parámetros reológicos de las dispersiones AMCE/xantana en comparación con los hidrocoloides solos.*

MEZCLA/HIDROCOLOIDE	$K$ (Pa·s <sup>n</sup> )	$n$	$R^2$
Xantana 0.2%	1.41	0.27	0.9872
Xantana 0.4%	2.46	0.25	0.9888
AMCE 3%	2.12	0.55	0.9999
AMCE 5%	3.97	0.51	0.9978
Xantana 0.2% + AMCE 3%	3.93	0.27	0.9915
Xantana 0.2% + AMCE 5%	13.25	0.27	0.9990
Xantana 0.4% + AMCE 3%	7.24	0.25	0.9978
Xantana 0.4% + AMCE 5%	14.72	0.29	0.9982

La Figura 3.8a muestra las curvas de flujo de ascenso y descenso de la mezcla AMCEP/xantana, dónde se pone en evidencia que este tipo de almidón no presenta alguna dependencia con el tiempo en cualquiera de las 4 mezclas, de igual forma se aprecia cómo el comportamiento de cada curva está dominada por la concentración de almidón y no por la de xantana ya que las mezclas que reflejan mayor consistencia, incluso en la Figura 3.8b, son las curvas pertenecientes a las que contienen 5% de almidón.

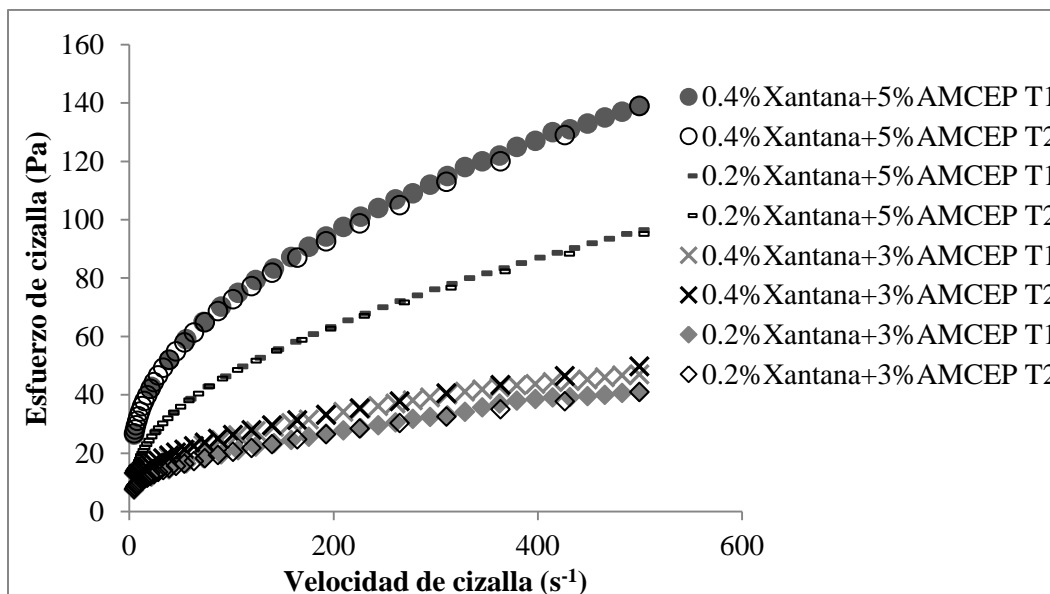


Figura 3.8a. Curvas de flujo correspondientes a las mezclas AMCEP/xantana.

La Figura 3.8b muestra una similitud en las pendientes de las curvas AMCEP/xantana, que comparando los valores de  $n$  presentados en el Cuadro 8 existe también una similitud entre ellos incluso al momento de aumentar la concentración del almidón, ya que todos los sistemas van de 0.33 a sólo 0.37, manteniendo con ello un carácter fluidificante. El análisis estadístico reflejó que no existe una interacción entre estos hidrocoloides en cuanto al valor de  $n$  (Anexo 1) ya que presenta una probabilidad de 0.353, afectando ambos hidrocoloides por igual al momento de mezclarlos.

Cuadro 8: Comparación de parámetros reológicos de la mezcla AMCEP/xantana.

MEZCLA	$K$ (Pa·s <sup><math>n</math></sup> )	$n$	$R^2$
Xantana 0.2% + AMCEP 3%	4.31	0.35	0.9931
Xantana 0.4% + AMCEP 3%	5.94	0.33	0.9942
Xantana 0.2% + AMCEP 5%	8.91	0.37	0.9972
Xantana 0.4% + AMCEP 5%	14.57	0.35	0.9974

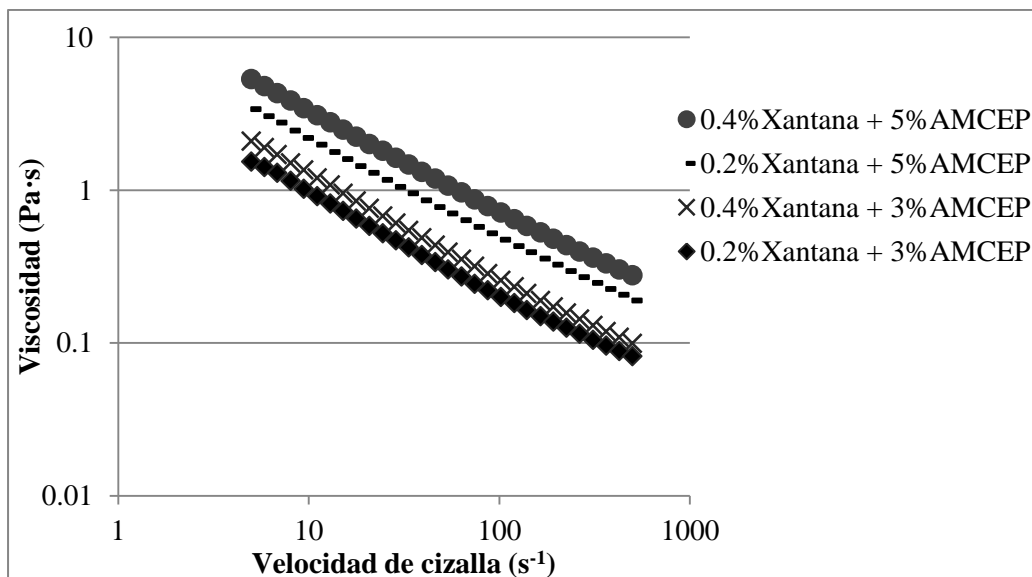


Figura 3.8b. Curva de viscosidad de las mezclas AMCEP/xantana.

El índice de consistencia en cada mezcla va en aumento conforme se incrementa la concentración de almidón y de la goma, existiendo un aumento promedio del 245% y 158% respectivamente, por lo que se observa que se da mayor incremento cuando se fija la concentración de xantana y se modifica la del almidón, concordando con ello lo que el análisis estadístico refleja: el almidón es el que más influye dentro de la mezcla.

En la Figura 3.9a muestra que cada curva correspondiente a la mezcla de AMCEP con xantana al 0.2% pasa por arriba de las del almidón sólo, es decir la curva correspondiente a la combinación de xantana al 0.2% y el almidón al 3% pasa por encima de la curva del almidón al 3% y la que corresponde a la mezcla de xantana al 0.2% y el almidón al 5% pasa por encima de la curva del almidón al 5%, lo que podría sugerir que existe también un efecto sinérgico sobre la consistencia. Además se observa que las mezclas con este tipo de almidón presentan menor susceptibilidad a la cizalla que las mezclas que contienen almidón que no se encuentra pregelatinizado.

La Figura 3.9b muestra las curvas correspondientes a la viscosidad de las mezclas de AMCEP con xantana al 0.2%, donde el cambio de pendiente entre las curvas de las mezclas y las del almidón sólo es muy pequeño, aproximándose a un mismo valor de viscosidad a altas velocidades de cizalla ( $500 \text{ s}^{-1}$ ). El comportamiento reológico de las mezclas sigue



estando regido por la ley de la potencia, mostrándose en el Cuadro 9 los parámetros reológicos correspondientes a cada una.

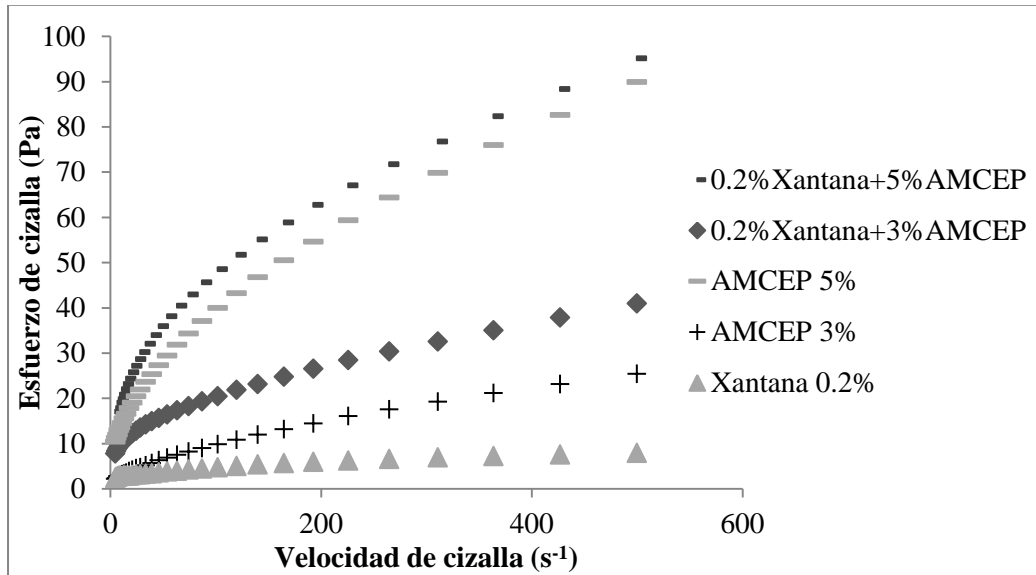


Figura 3.9a. Curvas de flujo correspondientes a las mezclas de AMCEP con xantana al 0.2% en comparación con los hidrocoloides solos.

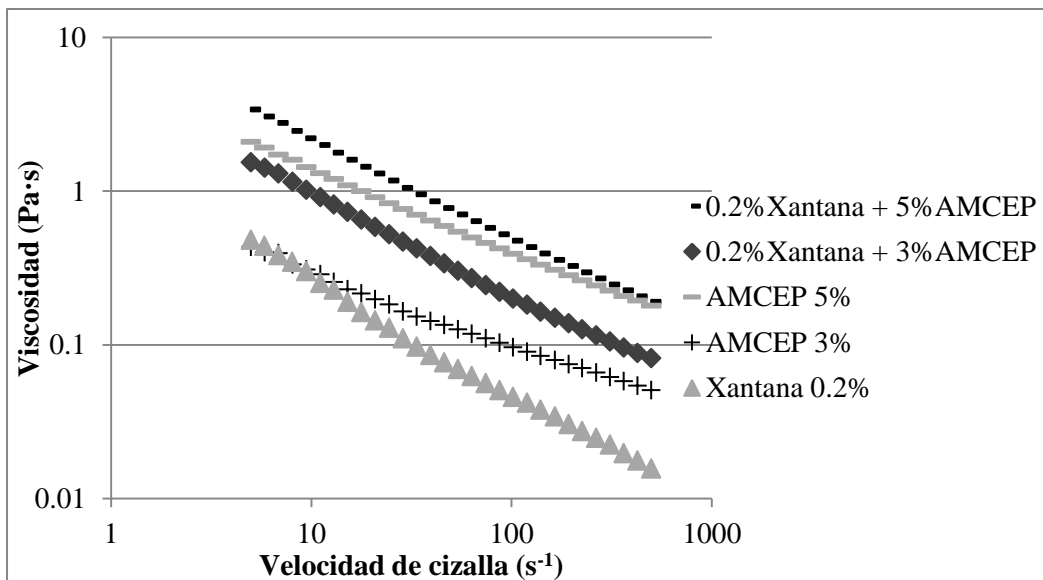


Figura 3.9b. Curvas de viscosidad de las mezclas de AMCEP con xantana al 0.2% en comparación con los hidrocoloides solos.

Ahora bien, en la Figura 3.10a se hace la comparación de las mezclas de xantana al 0.4% con AMCEP al 3 y 5 % p/p donde se puede observar la misma tendencia en las curvas de flujo, por lo que el mencionado sinergismo sigue presentándose en estos sistemas que contienen más xantana.

En este caso, el cambio de pendiente es más notorio cuando se agrega más goma al sistema (Figura 3.10b), ya que se observa que la curva de la mezcla que contiene el 3% del almidón cruza con la curva del almidón al 5%, haciendo que compartan valores de viscosidad en un intervalo de velocidad de  $5 - 15 \text{ s}^{-1}$ , debido a que la adición de la goma a esta concentración (0.4%) promueve el aumento de la consistencia del almidón hasta la obtenida con el 5%, pero al tener un carácter fluidificante, conforme aumenta la velocidad de cizalla, la mezcla va perdiendo viscosidad, incluso el valor de  $K$  de esta mezcla, mostrado en el Cuadro 9, supera al valor obtenido en el almidón al 5%. La viscosidad de la mezcla que contiene 0.4% xantana y 5% almidón es en todo momento superior a la del almidón sólo al 5%, haciendo que ambas curvas no crucen valores incluso a la velocidad de cizalla más alta.

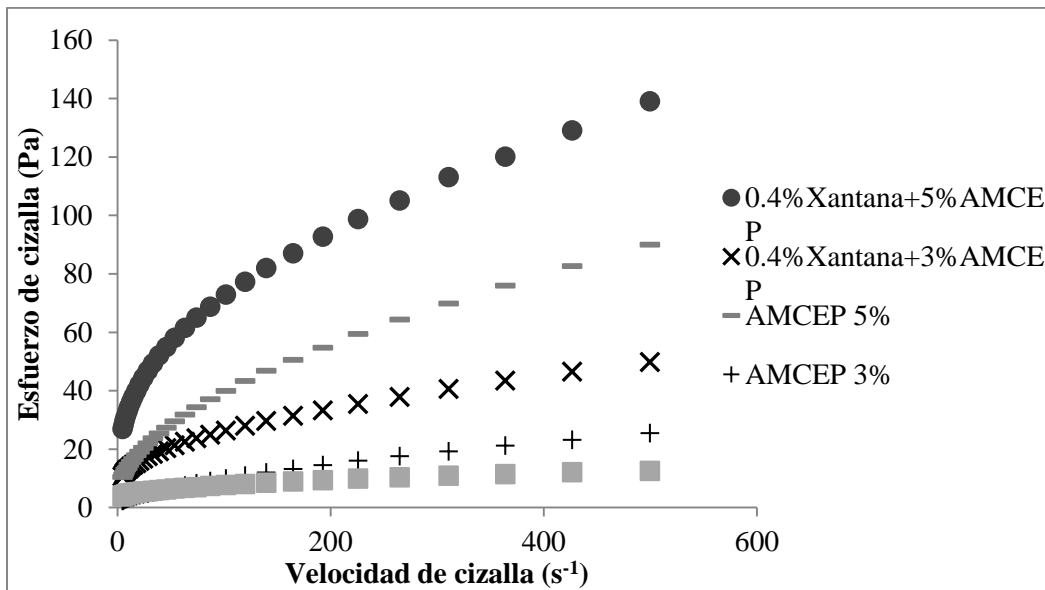


Figura 3.10a. Curvas de flujo correspondientes a las mezclas de AMCEP con xantana al 0.4% en comparación con los hidrocoloides solos.

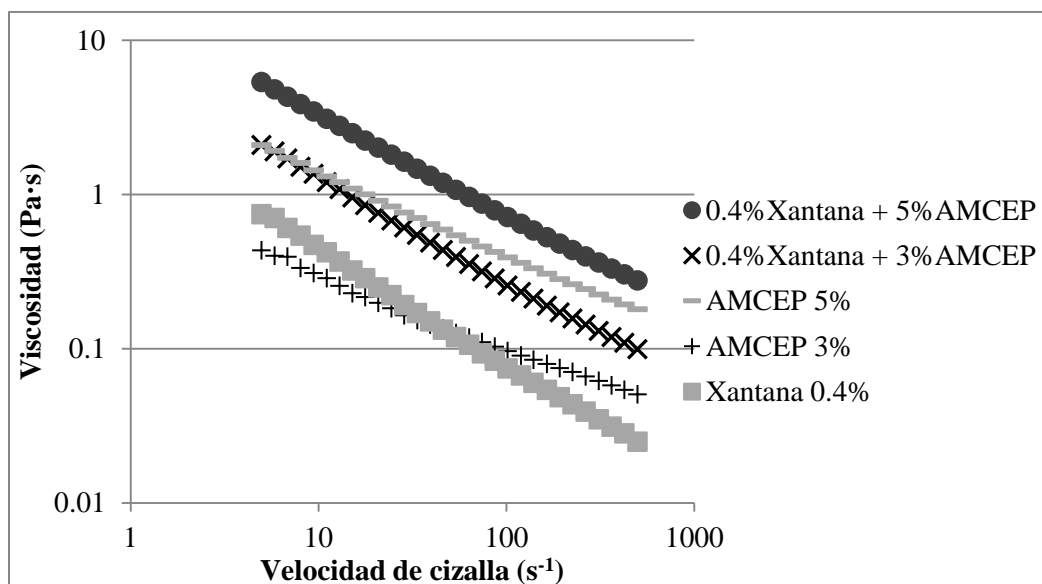


Figura 3.10b. Curvas de viscosidad de las mezclas de AMCEP con xantana al 0.4% en comparación con los hidrocoloides solos.

Cuadro 9: Parámetros reológicos de las dispersiones de AMCEP/xantana en comparación con los hidrocoloides solos.

MEZCLA/HIDROCOLOIDE	$K$ (Pa·s <sup><math>n</math></sup> )	$n$	$R^2$
Xantana 0.2%	1.41	0.27	0.9872
Xantana 0.4%	2.46	0.25	0.9888
AMCE 3%	2.12	0.55	0.9999
AMCE 5%	3.97	0.51	0.9978
Xantana 0.2% + AMCEP 3%	4.31	0.35	0.9931
Xantana 0.2% + AMCEP 5%	8.91	0.37	0.9972
Xantana 0.4% + AMCEP 3%	5.94	0.33	0.9942
Xantana 0.4% + AMCEP 5%	14.57	0.35	0.9974

Los sistemas con AMCE mostraron mayor carácter fluidificante, haciéndolos más estables incluso con altas concentraciones, sin embargo el sistema de este estudio es un fluido de baja consistencia, eligiéndose así como sistema modelo la mezcla de 0.2% de xantana con

el 3% de AMCE como fase continua para trabajar los sistemas con pulpa de fruta, y para el otro almidón se eligió su equivalencia en concentración de la mezcla AMCEP/xantana, de esta manera se combinaron con pulpa de guayaba a concentraciones del 10, 25 y 40 % p/p. Los resultados de las pruebas reológicas se describen a continuación.

### 3.1.3 Sistemas con pulpa de fruta

La pulpa de guayaba se caracterizó bajo las mismas condiciones de cizalla que los demás sistemas la cual no presentó alguna dependencia significativa con el tiempo como se muestra en la Figura 3.11, ajustándose de igual manera, al modelo de la ley de la potencia cuyos parámetros reológicos se muestra en el Cuadro 10.

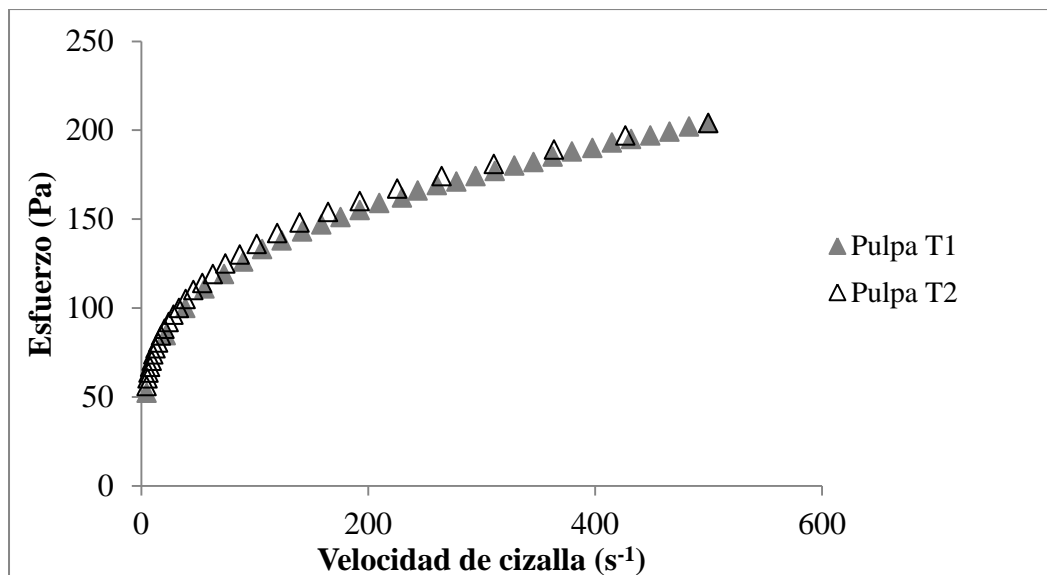


Figura 3.11. Curvas de flujo de ascenso y descenso de la pulpa de guayaba.

La Figura 3.12a presenta las curvas de flujo de las mezclas AMCE/xantana con pulpa de guayaba. A simple vista las curvas muestran un carácter fluidificante similar, teniendo un valor en el índice de comportamiento al flujo casi constante (Cuadro 10), a pesar del aumento en el contenido de pulpa. La fase continua que está conformada por 0.2% de

xantana y 3% AMCE se caracterizó anteriormente por ser un sistema fluidificante sin alguna dependencia con el tiempo, que al momento de mezclar con la pulpa de guayaba, sigue conservando este comportamiento.

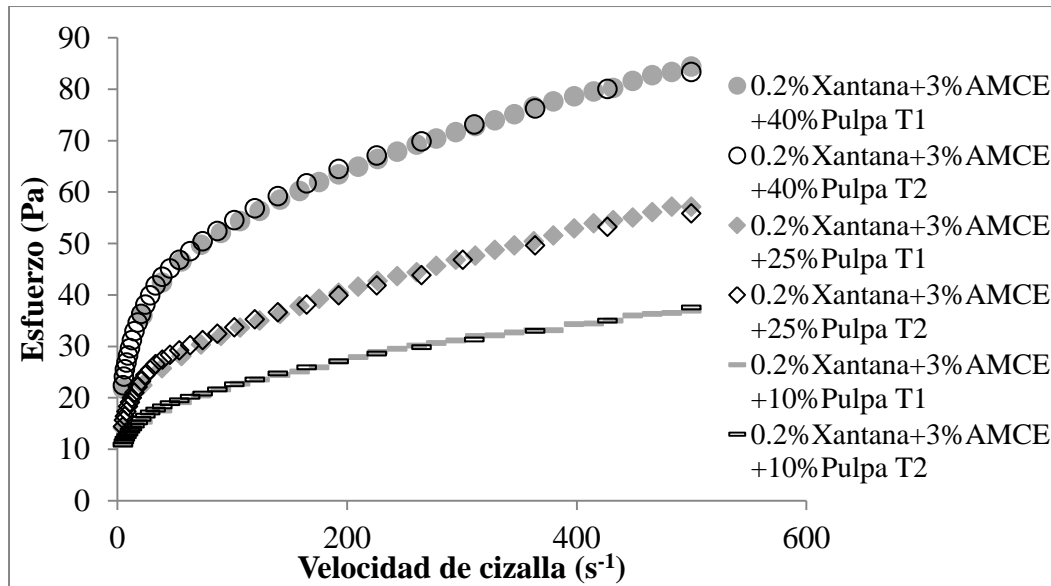
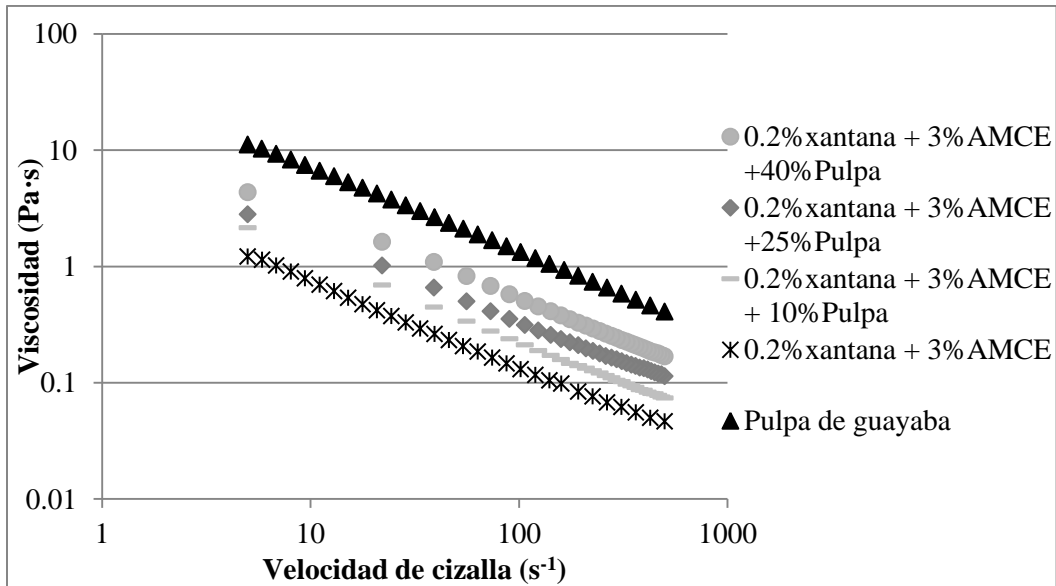


Figura 3.12a. Curvas de flujo correspondientes a las mezclas de AMCE (3%) con xantana (02%) y pulpa de guayaba.

En la Figura 3.12b se muestran las curvas de viscosidad de estos sistemas, comparándolos con las curvas de flujo de la fase continua y la pulpa de guayaba, donde se aprecia que la tendencia de cada curva es similar, incluyendo la de la pulpa, ya que las pendientes de cada curva son paralelas entre sí, destacándose que conforme se incrementa la concentración de la pulpa más consistente va siendo el sistema, corroborándose esto con los valores de  $K$  tal y como se muestra en el Cuadro 10.



*Figura 3.12b.* Curvas de viscosidad de las mezclas de AMCE (3%) con xantana (0.2%) y diferentes concentraciones de pulpa de guayaba en comparación con la fase continua y la pulpa sola.

En el Cuadro 10 se muestran los valores del índice de comportamiento al flujo ( $n$ ) de estos sistemas comparándolos con los de la fase continua, donde se observa que al adicionar la pulpa el valor de este parámetro permanece prácticamente igual ( $\approx 0.3$ ). Puede marcarse solo una ligera diferencia en el cambio del 10% al 25% de pulpa, ya que el valor de  $n$  va de 0.25 a 0.27, viéndose reflejado en el análisis estadístico (Cuadro 12). Este comportamiento es similar a lo reportado por Wei y col. (2001) pero en rellenos para pay a base de pulpa de manzana y almidón de maíz ceroso en adición con xantana.

En la Figura 3.13a, se muestra que la susceptibilidad a la cizalla que sufren los sistemas con pulpa sigue siendo mayor que la presentada con el almidón sólo pero menor a la que presenta la mezcla almidón/xantana; mientras la Figura 3.13b muestra las curvas de viscosidad de los sistemas con pulpa de fruta del AMCE con xantana en comparación con los hidrocoloides solos. En esta ocasión los sistemas que contienen 10 y 25 % de pulpa se igualan en valores de viscosidad con el almidón sólo en un intervalo de velocidad de cizalla de  $40\text{--}90\text{ s}^{-1}$  para el primer sistema y en un intervalo más amplio que va de los  $165\text{--}500\text{ s}^{-1}$

para con el segundo. Las pendientes de los tres sistemas y la fase continua siguen siendo similares a la de la xantana, lo que indica que los sistemas siguen siendo fluidificantes y los valores de  $n$  siguen similares al de esta goma.

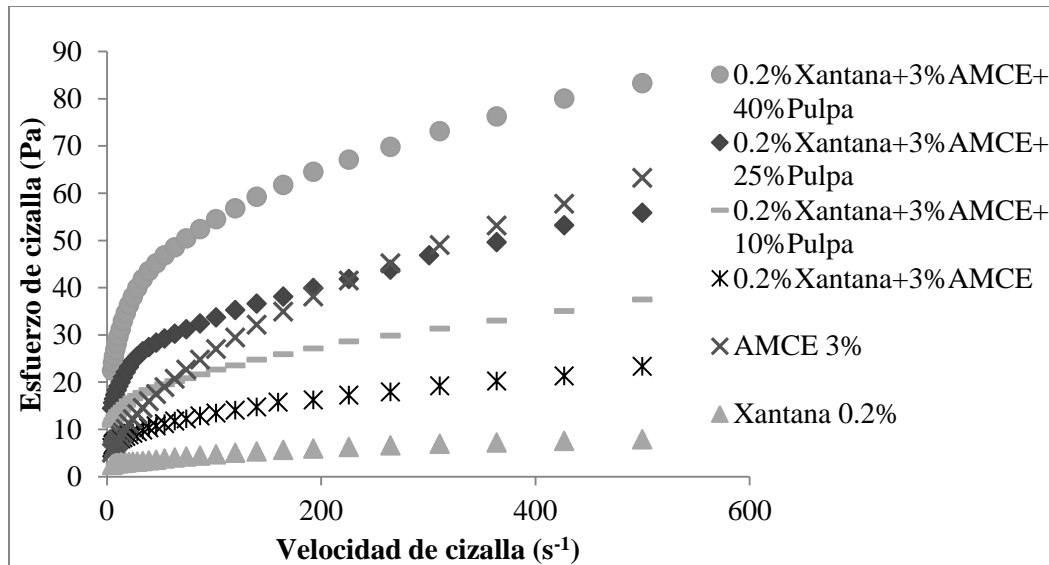
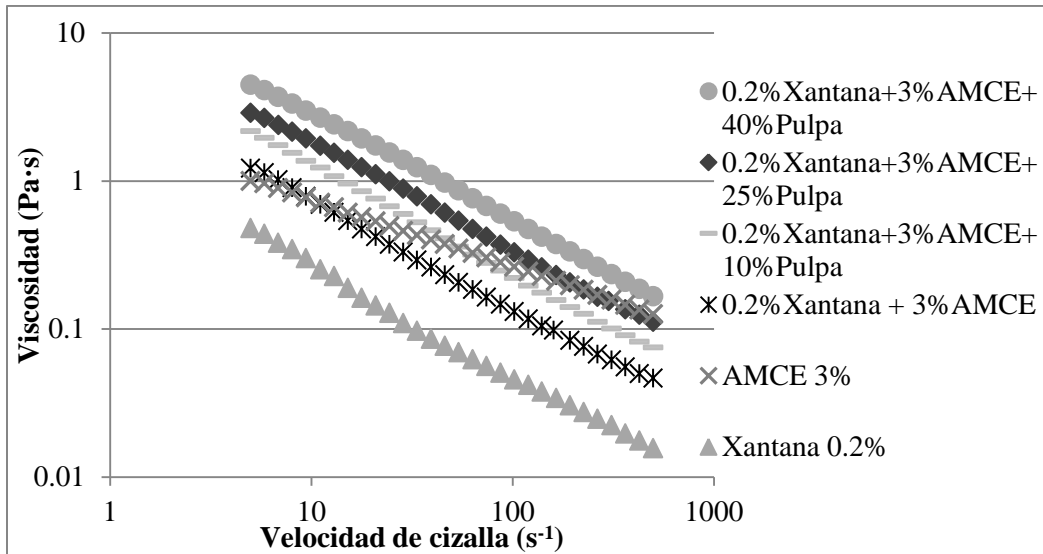


Figura 3.13a. Curvas de flujo de la mezcla AMCE 3%/xantana 0.2% y diferentes concentraciones de pulpa en comparación con la fase continua e hidrocoloides solos.

Cuadro 10: *Parámetros reológicos de la mezcla de AMCE al 3% con xantana al 0.2% y pulpa de fruta, en comparación con la fase continua y la pulpa de guayaba.*

SISTEMA	K (Pa·s <sup>n</sup> )	n	R <sup>2</sup>
Xantana 0.2% + AMCE 3%	3.93	0.27	0.9915
0.2%Xantana+3% AMCE + 10% pulpa	7.29	0.25	0.9953
0.2%Xantana+3% AMCE + 25% pulpa	9.86	0.27	0.9948
0.2%Xantana+3% AMCE + 40% pulpa	15.38	0.27	0.9965
Pulpa de guayaba	37.90	0.27	0.9986



*Figura 3.13b.* Curva de viscosidad de la mezcla AMCE 3%/xantana 0.2% y diferentes concentraciones de pulpa en comparación con la fase continua e hidrocoloides solos.

La Figura 3.14a muestra las curvas de flujo de AMCEP al 3% con xantana al 0.2% en combinación con pulpa de guayaba a diferentes concentraciones, donde se observa que existe dependencia con el tiempo en los sistemas con 25 y 40 % de pulpa. Con el 25% de pulpa la dependencia con el tiempo se observa a altas velocidades de cizalla siendo notoria desde los 400 s<sup>-1</sup> y con el 40 % de pulpa esta dependencia se observa desde los 350 s<sup>-1</sup>, manifestándose ésta dependencia con el fenómeno de reopexia.



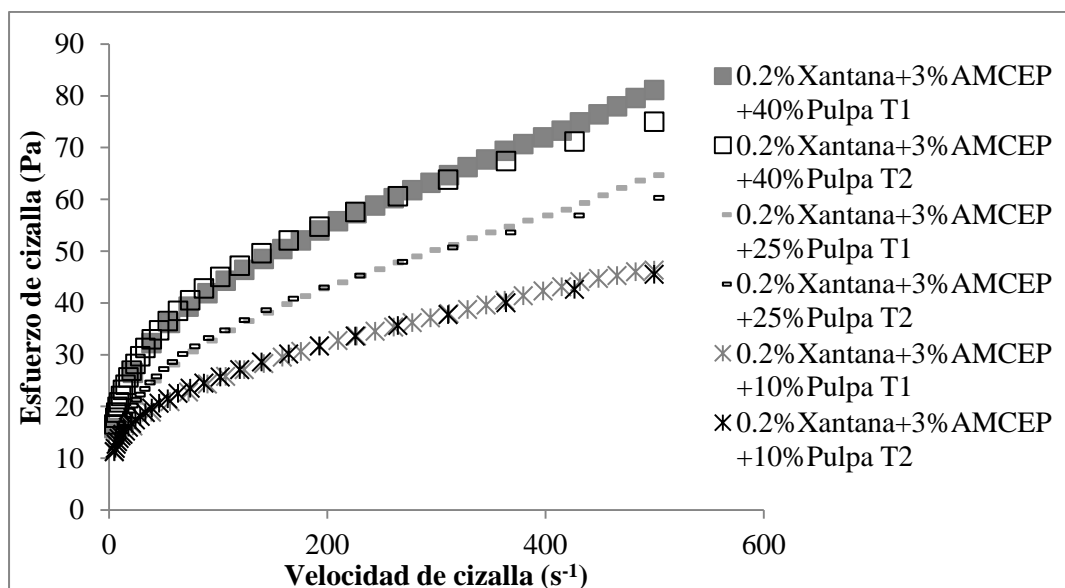
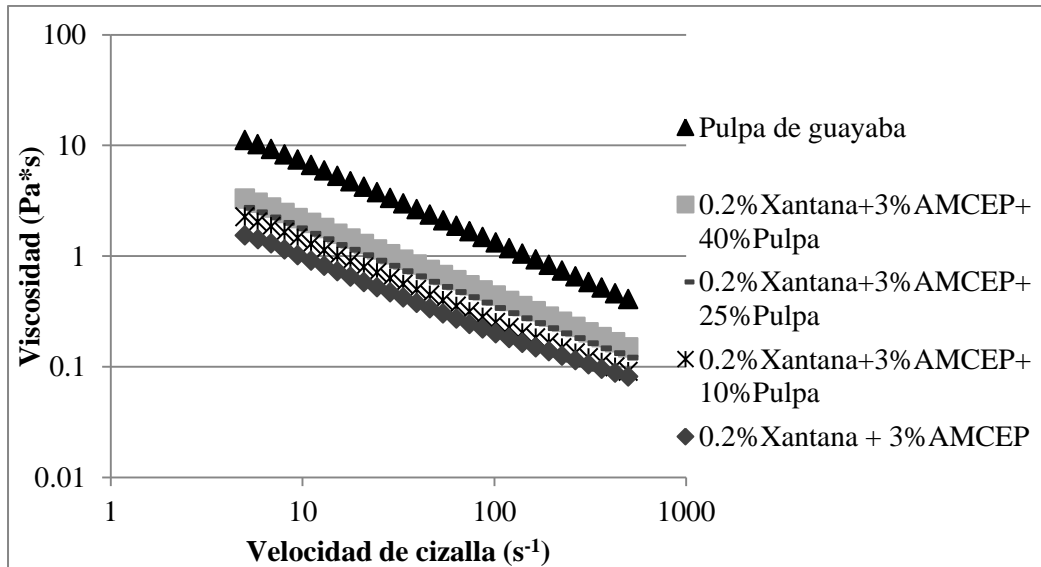


Figura 3.14a. Curvas de flujo correspondientes a la mezcla AMCEP 3%/xantana 02% y pulpa de guayaba.

La Figura 3.14b muestra las curvas de viscosidad de los sistemas AMCEP/xantana con pulpa de fruta en comparación con la fase continua y la pulpa de guayaba sola, donde todas las curvas siguen prácticamente la misma tendencia, lo que hace que se describan como fluidificantes. Los valores de los parámetros reológicos se muestran en el Cuadro 11, dónde los valores del índice de comportamiento al flujo siguen la misma tendencia que los sistemas con AMCE de tener una ligera disminución en el sistema con el 10% y un aumento con el 25% de pulpa pero al incrementar la concentración a un 40% el valor de  $n$  permanece constante viéndose reflejado también en el análisis estadístico (Cuadro 12). Con este almidón se aprecia una diferencia mayor al disminuir el valor de  $n$  de la fase continua al momento de adicionar la pulpa, además los valores de este parámetro son mucho mayores en los sistemas con pulpa, que en la pulpa sola, existiendo un adelgazamiento a la cizalla menor que el reflejado con el almidón que no está pregelatinizado.



*Figura 3.14b.* Curva de viscosidad de las mezclas de AMCEP (3%) con xantana (0.2%) y diferentes concentraciones de pulpa de guayaba en comparación con la fase continua y la pulpa sola.

El valor del índice de consistencia de estos sistemas, mostrado en el Cuadro 11, sigue aumentando conforme se le adiciona más pulpa a la fase continua, sin embargo, el incremento de este parámetro es mucho menor del mostrado con los sistemas que contienen AMCE. El valor de  $K$  del sistema que tiene la mayor concentración llega apenas a los  $10.07 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$ , cuando con el AMCE llega hasta los  $15.38 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$ , por lo que el almidón de maíz ceroso entrecruzado y pregelatinizado no presenta un efecto sinérgico en cuanto a la consistencia del sistema.

La Figura 3.15a muestra los sistemas AMCEP/xantana y pulpa de fruta con la fase continua y los hidrocoloides solos, observándose que las mezclas no son muy fluidificantes ya que la tendencia que sigue cada curva es similar reflejándose solo una diferencia en la consistencia que presenta cada curva al inicio. La tendencia de cada curva es similar a la que presenta la xantana por la inclinación o pendiente que sigue y tiene cada curva (Figura 3.15b), la separación de las mismas incluso es menor que en la Figura 3.13b que muestra las curvas de viscosidad de los sistemas que contienen al AMCE.

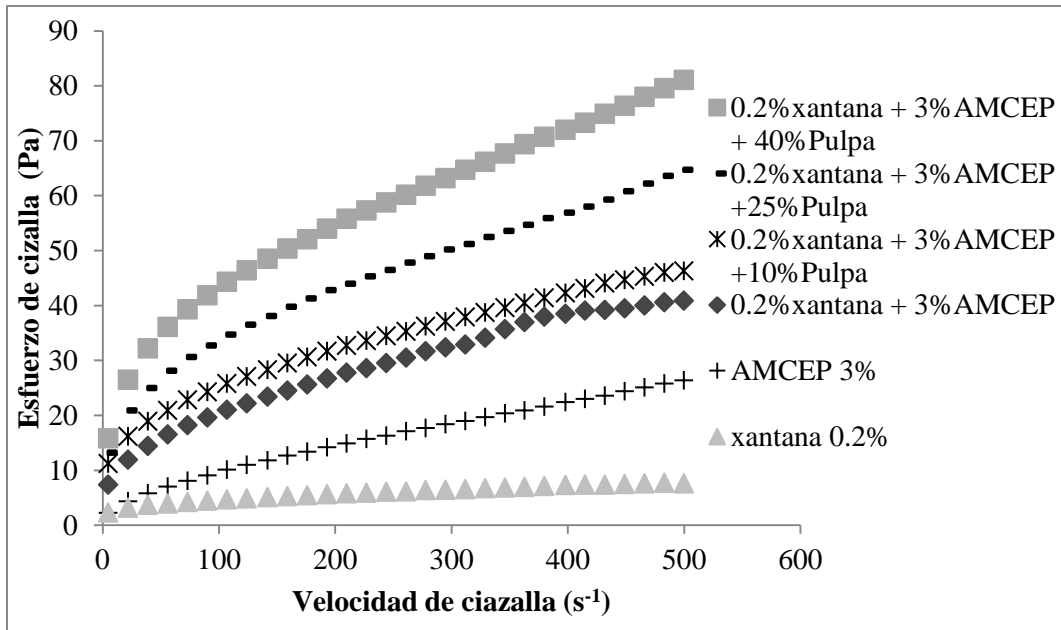


Figura 3.15a. Curvas de flujo correspondientes a los sistemas de AMCEP (3%) con/xantana (0.2%) y diferentes concentraciones de pulpa de guayaba en comparación de la fase continua y los hidrocoloides solos.

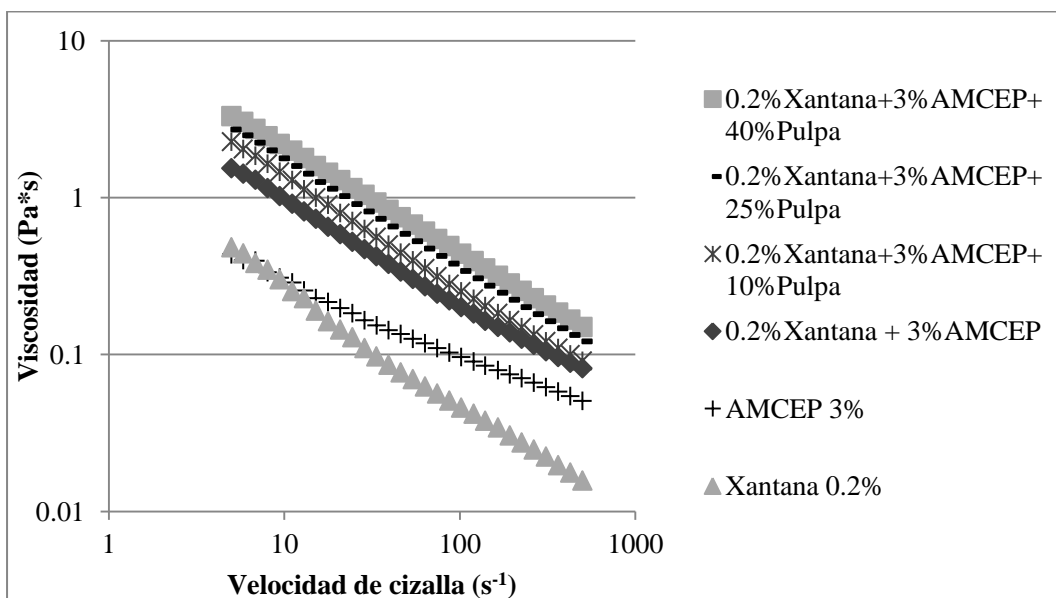


Figura 3.15b. Curva de viscosidad de los sistemas de AMCEP (3%) con xantana (0.2%) y diferentes concentraciones de pulpa de guayaba en comparación con la fase continua y los hidrocoloides solos.

Cuadro 11: *Parámetros reológicos de la mezcla AMCEP al 3% con xantana al 0.2% y pulpa de fruta, en comparación con la fase continua y la pulpa de guayaba.*

SISTEMA	K (Pa·s <sup>n</sup> )	n	R <sup>2</sup>
Xantana 0.2% + AMCEP 3%	4.31	0.35	0.9931
0.2% Xantana+3% AMCEP + 10% pulpa	6.95	0.29	0.9945
0.2% Xantana+3% AMCEP + 25% pulpa	8.17	0.32	0.9991
0.2% Xantana+3% AMCEP + 40% pulpa	10.07	0.32	0.9998
Pulpa de guayaba	37.90	0.27	0.9986

El análisis estadístico, como se muestra en el Cuadro 12, refleja que, en el índice de comportamiento al flujo, los sistemas con el 10% de pulpa son completamente diferentes entre sí y a los demás sistemas, mientras que en los que contienen 25 y 40 % de pulpa no existe diferencia significativa entre ellos pero sí entre almidones; en el índice de consistencia se observa que con el AMCE si existe diferencia significativa de concentración a concentración, caso contrario a lo que presentan los sistemas con AMCEP que no existe diferencia en el contenido de sólidos más que cuando se aumenta a un 40% de pulpa, viendo a su vez que el AMCE sigue proporcionando mayores valores de consistencia. Todos los sistemas se siguen ajustando al modelo de la ley de la potencia.

Cuadro 12: *Parámetros reológicos de los sistemas almidón/xantana con diferente contenido de pulpa en comparación con la pulpa guayaba sola.*

SISTEMA	K (Pa·s <sup>n</sup> )	n	R <sup>2</sup>
0.2% Xantana+3% AMCE + 10% pulpa	7.29 <sup>a</sup>	0.25 <sup>a</sup>	0.9953
0.2% Xantana+3% AMCE + 25% pulpa	9.86 <sup>b</sup>	0.27 <sup>b</sup>	0.9948
0.2% Xantana+3% AMCE + 40% pulpa	15.38 <sup>c</sup>	0.27 <sup>b</sup>	0.9965
0.2% Xantana+3% AMCEP + 10% pulpa	6.95 <sup>a</sup>	0.29 <sup>c</sup>	0.9945
0.2% Xantana+3% AMCEP + 25% pulpa	8.17 <sup>a</sup>	0.32 <sup>d</sup>	0.9991
0.2% Xantana+3% AMCEP + 40% pulpa	10.07 <sup>b</sup>	0.32 <sup>d</sup>	0.9998

Valores con el mismo superíndice son estadísticamente iguales con un nivel de significancia de 0.05 al aplicar la prueba de Tukey.

La Figura 3.16a muestra la comparación de las curvas de flujo, esfuerzo/velocidad de cizalla, de los sistemas con pulpa de guayaba, donde se ve reflejada la diferencia de comportamiento que tiene cada sistema al variar el tipo de almidón utilizado. Se aprecia con mayor claridad lo antes mencionado: las curvas que contienen AMCE son más fluidificantes que las que contienen AMCEP, quedando por debajo las primeras, aunque esta tendencia no se refleja a la máxima concentración ya que la curva que contiene 40% de pulpa y con AMCE pasa por encima de la curva con AMCEP, esto puede deberse a que la diferencia entre el valor de  $k$  de estos sistemas es mucho mayor que la presentada por las que contienen el 10 y 25 % de pulpa. Los valores de  $n$ , en el Cuadro 12, de los sistemas que contienen AMCE son menores que los de AMCEP.

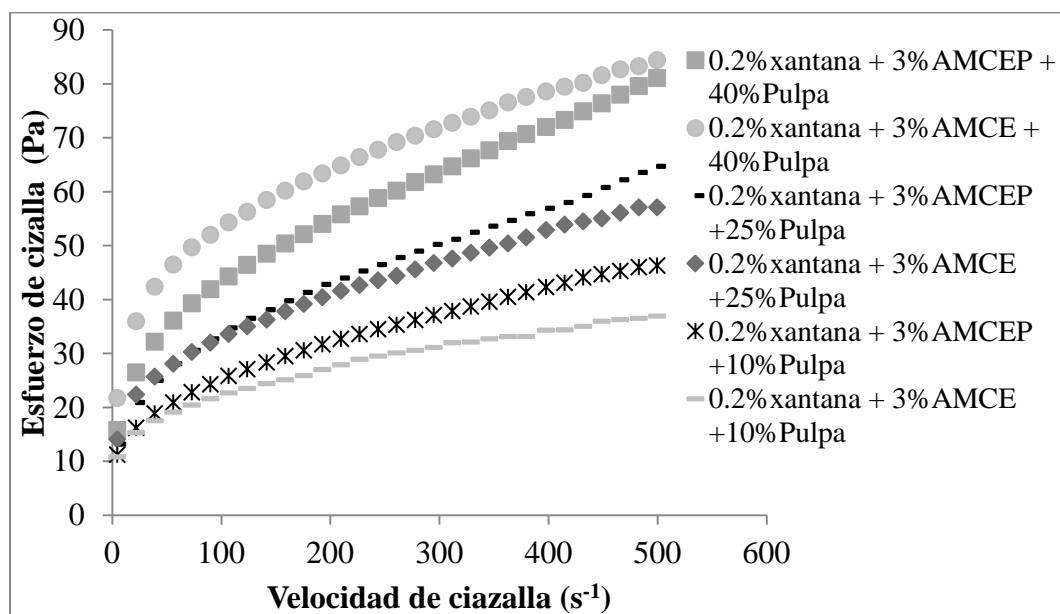
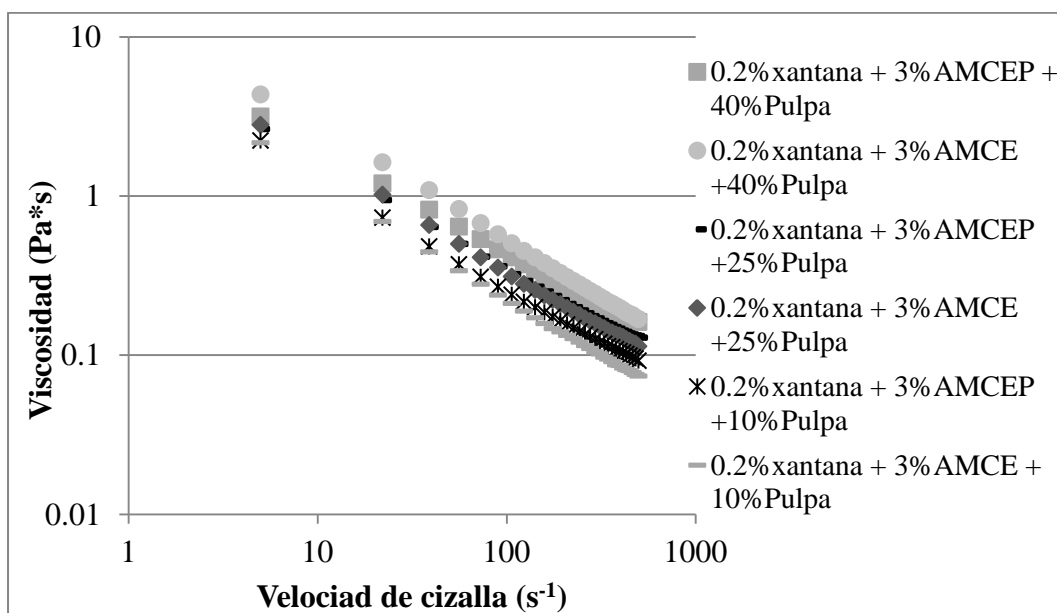


Figura 3.16a. Comparación de las curvas de flujo correspondientes a las mezclas de almidón/xantana con diferentes concentraciones de pulpa de guayaba.

En la Figura 3.16b se hace la comparación de los sistemas en estudio en cuanto a la viscosidad que presentaron éstos, se evidencia la diferencia que existe entre cada sistema a cada concentración. Las curvas que contienen el 10% de pulpa tienen prácticamente el

mismo valor de viscosidad desde el inicio del cizallamiento, cayendo poco a poco la pendiente de la curva que contiene al almidón de maíz ceroso entrecruzado haciéndose notoria la diferencia de viscosidad de estas curvas a una velocidad de cizalla de  $40 \text{ s}^{-1}$ , el valor de  $k$  de estas curvas difiere por poco más de una unidad; las curvas que contienen el 25% de pulpa se enciman en un intervalo más amplio de viscosidad, haciéndose notorio el adelgazamiento que tiene la curva que contiene al almidón que no está pregelatinizado hasta una velocidad de  $150 \text{ s}^{-1}$ , el valor de  $n$  de estas curvas difiere en la misma proporción que en el caso anterior; mientras que en las curvas con 40% de pulpa existe una mayor diferencia, desde el inicio del cizallamiento la separación se hace notoria, sin embargo conforme aumenta la velocidad de cizalla, la pendiente de ambas curvas cae hasta aparentemente juntarse a la máxima velocidad trabajada ( $500 \text{ s}^{-1}$ ), los valores de  $K$  de estas curvas difiere por poco más del doble de su valor.



*Figura 3.16b.* Comparación de las curvas de viscosidad de los sistemas almidón/xantana con diferentes concentraciones de pulpa de guayaba.

Las pruebas reológicas muestran cómo va cambiando el comportamiento de los almidones utilizados al momento de combinarlos con otro polisacárido y con pulpa de fruta. El

AMCEP solo, se caracterizó por ser más fluidificante pero menos consistente que el AMCE; al combinarlos con xantana el AMCE sigue dando mayor consistencia al sistema y además mayor adelgazamiento a la cizalla que el AMCEP incluso al momento de combinar la fase continua con la pulpa; por otro lado, este último almidón presenta menor susceptibilidad a la cizalla tanto en mezcla con xantana como con la adición de la pulpa que la reflejada con el almidón que no está pregelatinizado. El almidón de maíz ceroso entrecruzado presentó tixotropía al momento de caracterizarlo solo, cuando se combinó con xantana la dependencia con el tiempo se mostró en anti tixotropía a una concentración del 5% mientras que a la de 3% no se vio reflejada alguna dependencia de este tipo incluso al combinarla con la pulpa con el 0.2% de xantana. Por su parte el almidón de maíz ceroso entrecruzado y pregelatinizado no mostró alguna dependencia con el tiempo al momento de caracterizarlo tanto solo como en combinación con xantana, pero sí presentó reopexia al momento de combinarlo con la pulpa de guayaba a velocidades de cizalla altas.

## **3.2 Pruebas de textura**

### **3.2.1 Hidrocoloides solos**

Dentro de la prueba de adhesividad, en la Figura 3.17 se aprecia que el AMCEP al 5% es el que presenta una mayor consistencia, seguida por la del AMCE al 5% y posteriormente la xantana al 0.4%; el AMCE al 3% es el menos consistente. Los parámetros texturales considerados para esta prueba fueron la fuerza de penetración, trabajo de penetración, fuerza adhesiva, estiramiento y adhesividad, debido a que experimentalmente no se obtuvo relevancia en las propiedades cohesivas del material. En el Cuadro 13 se observa que los hidrocoloides a una baja concentración no muestran diferencia significativa entre sus valores texturales, sin embargo, a una alta concentración el AMCEP se destaca por tener valores mayores en la fuerza y trabajo de penetración, fuerza adhesiva y adhesividad, lo que lo hace ser el hidrocoloide más adhesivo. En el estiramiento no hay diferencia significativa entre las dispersiones con el análisis estadístico (Cuadro 13) a pesar de mostrar valores diferentes entre sí.

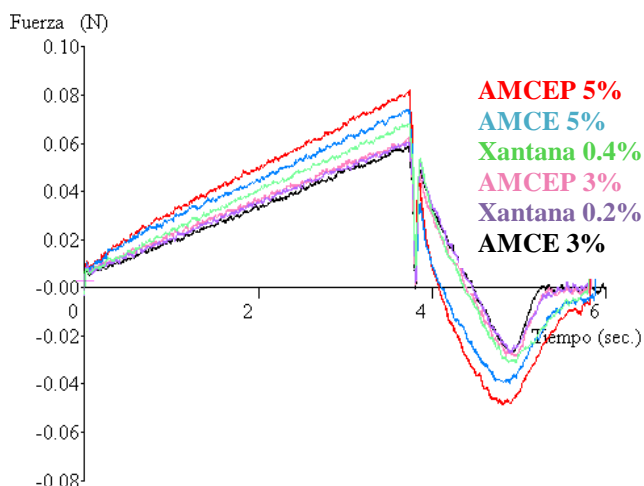


Figura 3.17. Gráfico comparativo de la prueba de adhesividad de los hidrocoloides.

A una concentración del 0.4% la xantana muestra valores en sus parámetros que igualan al almidón menos adhesivo a una concentración del 3% y al 0.2% esta goma se iguala al AMCEP a una concentración del 3%, por lo que estadísticamente estos tres hidrocoloides a estas concentraciones no tienen diferencia al igualarse en textura. Considerando la cantidad de almidón utilizado con la de xantana, se corrobora el que Katzbauer (1998) describe a esta goma por ser adhesiva por naturaleza.

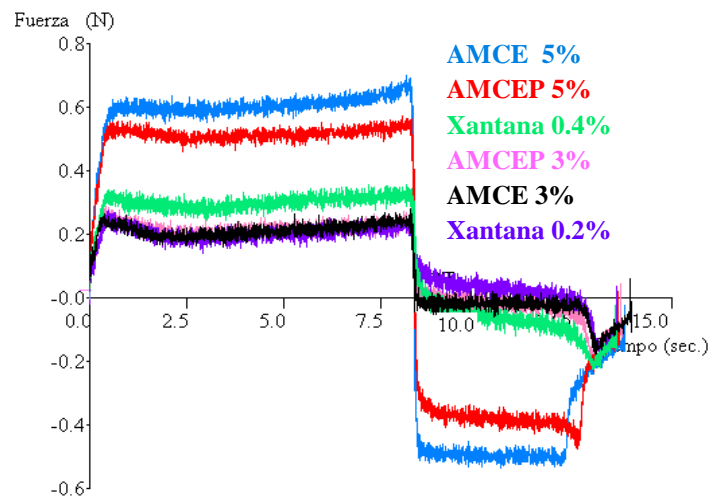
Cuadro 13: *Parámetros texturales de la prueba de penetración de las dispersiones de hidrocoloides.*

Hidrocoloide	Fuerza de penetración (N)	Trabajo de penetración (N·s)	Fuerza adhesiva (N)	Estiramiento (mm)	Adhesividad (N·s)
Xantana 0.2%	0.060 <sup>a</sup>	0.123 <sup>ac</sup>	0.027 <sup>ac</sup>	10.80 <sup>a</sup>	0.013 <sup>ad</sup>
Xantana 0.4%	0.068 <sup>b</sup>	0.139 <sup>c</sup>	0.032 <sup>c</sup>	14.14 <sup>a</sup>	0.023 <sup>d</sup>
AMCE 3%	0.058 <sup>a</sup>	0.116 <sup>a</sup>	0.028 <sup>a</sup>	7.85 <sup>a</sup>	0.011 <sup>a</sup>
AMCE 5%	0.074 <sup>b</sup>	0.154 <sup>b</sup>	0.040 <sup>b</sup>	17.63 <sup>a</sup>	0.035 <sup>b</sup>
AMCEP 3%	0.062 <sup>a</sup>	0.126 <sup>ac</sup>	0.029 <sup>c</sup>	14.36 <sup>a</sup>	0.015 <sup>ad</sup>
AMCEP 5%	0.082 <sup>c</sup>	0.173 <sup>b</sup>	0.049 <sup>d</sup>	17.32 <sup>a</sup>	0.047 <sup>c</sup>

Valores con el mismo superíndice son estadísticamente iguales con un nivel de significancia de 0.05 al aplicar la prueba de Tukey.



La Figura 3.18 y el Cuadro 14 muestran los resultados de la prueba de extrusión negativa de las dispersiones de hidrocoloides, donde se observa que el AMCE al 5% muestra una mayor consistencia, tal y como se reflejó en las pruebas reológicas y como se reporta en la bibliografía (Whistler y col., 1984) mostrando también los valores texturales más altos (Cuadro 14). La diferencia entre hidrocoloides se observa mejor a altas concentraciones ya que las curvas de ambos almidones al 3% y la xantana al 0.2% aparentemente tienen el mismo comportamiento y se sobre ponen en la mayor parte de la prueba (Figura 3.18), sin embargo, los parámetros que tienen estos tres hidrocoloides indican que el AMCE presenta mayor resistencia al fluir que el AMCEP y mucho más que la xantana no existiendo una diferencia estadística entre ellos; por otro lado cuando se comparan ambos almidones a una concentración más alta (5%) la diferencia que marca el análisis estadístico entre ellos es nula, existiendo solamente dicha diferencia entre estos y la xantana al 0.4% en la resistencia a la extrusión, el trabajo de extrusión, la fuerza promedio y la fuerza máxima de extrusión. En el inicio de la extrusión no existe diferencia entre las dispersiones de los hidrocoloides.



*Figura 3.18.* Gráfico comparativo de la prueba de extrusión negativa de los hidrocoloides solos.

Cuadro 14: *Parámetros texturales de la prueba de extrusión negativa de las dispersiones de hidrocoloides.*

Hidrocoloide	Resistencia a la extrusión (N/s)	Inicio de la extrusión (mm)	Trabajo de extrusión (N·s)	Fuerza promedio de extrusión (N)	Fuerza máxima de extrusión (N)
Xantana 0.2%	0.581 <sup>a</sup>	1.195 <sup>a</sup>	1.629 <sup>ac</sup>	0.204 <sup>ac</sup>	0.278 <sup>ac</sup>
Xantana 0.4%	0.813 <sup>ac</sup>	1.29 <sup>a</sup>	2.389 <sup>c</sup>	0.302 <sup>c</sup>	0.354 <sup>c</sup>
AMCEP 3%	0.608 <sup>a</sup>	1.293 <sup>a</sup>	1.717 <sup>ac</sup>	0.217 <sup>ac</sup>	0.287 <sup>ac</sup>
AMCEP 5%	0.941 <sup>cb</sup>	1.332 <sup>a</sup>	4.064 <sup>b</sup>	0.517 <sup>b</sup>	0.572 <sup>b</sup>
AMCE 3%	0.703 <sup>a</sup>	1.043 <sup>a</sup>	1.695 <sup>a</sup>	0.213 <sup>a</sup>	0.277 <sup>a</sup>
AMCE 5%	1.838 <sup>b</sup>	1.518 <sup>a</sup>	4.749 <sup>b</sup>	0.608 <sup>b</sup>	0.699 <sup>b</sup>

Valores con el mismo superíndice son estadísticamente iguales con un nivel de significancia de 0.05 al aplicar la prueba de Tukey.

### 3.2.2 Mezcla de hidrocoloides

El comportamiento de las mezclas AMCE/xantana (Figura 3.19) depende de la concentración del almidón y no de la de xantana ya que, como se muestra en el Cuadro 15, conforme se aumenta la concentración de almidón aumenta el valor de cada uno de los parámetros texturales con excepción del estiramiento. Al comparar los valores de los hidrocoloides solos con los obtenidos de las mezclas se observa que sólo existe sinergismo cuando se tiene el 5% de AMCE en la mezcla, mientras que con el 3% de este almidón se refleja un antagonismo en la fuerza y trabajo de penetración así como en la fuerza adhesiva; la adhesividad es el único parámetro que muestra siempre valores mayores a la suma de los de los hidrocoloides por separado, por el contrario los valores del estiramiento siempre permanecen por debajo de dicha suma.

Cuadro 15: *Parámetros texturales de la prueba de penetración de las mezclas AMCE/xantana en comparación con los hidrocoloides solos.*

Mezcla o hidrocoloide	Fuerza de penetración (N)	Trabajo de penetración (N·s)	Fuerza adhesiva (N)	Estiramiento (mm)	Adhesividad (N·s)
5% AMCE + 0.4% xantana	0.182	0.462	0.116	19.6	0.134
5% AMCE + 0.2% xantana	0.155	0.385	0.093	20.7	0.108
3% AMCE + 0.4% xantana	0.1	0.235	0.053	22.9	0.055
3% AMCE + 0.2% xantana	0.079	0.173	0.041	16.1	0.034
XANTANA 0.2%	0.060	0.123	0.027	10.8	0.013
XANTANA 0.4%	0.068	0.139	0.032	14.14	0.023
AMCE 3%	0.058	0.116	0.028	7.85	0.011
AMCE 5%	0.074	0.154	0.040	17.63	0.035

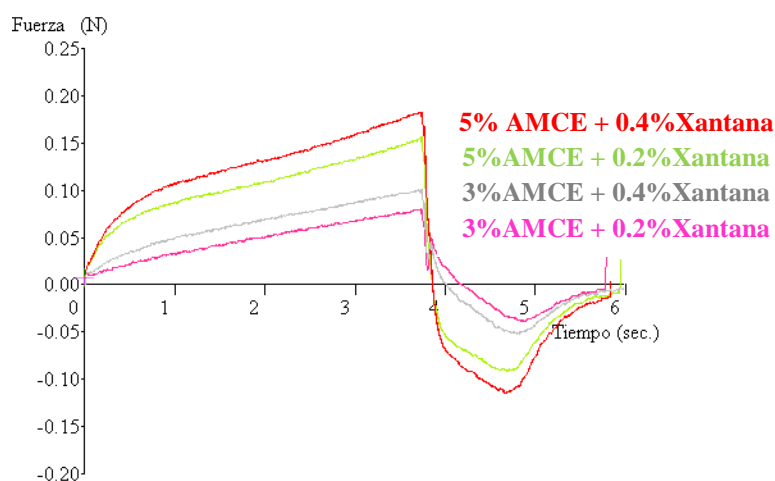
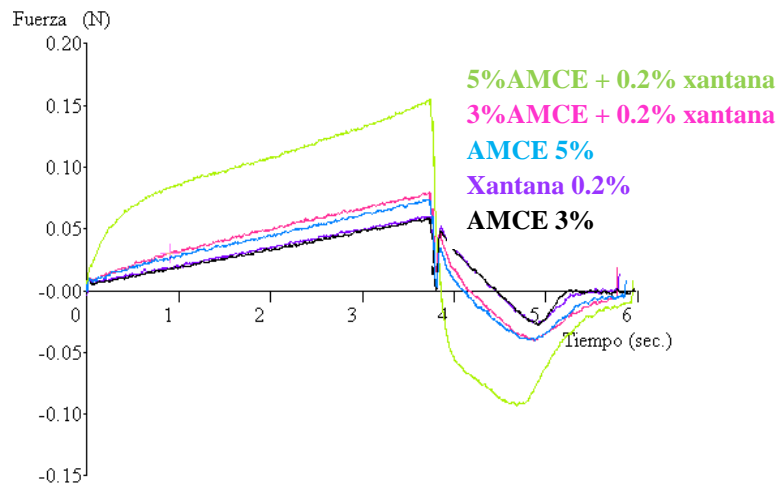


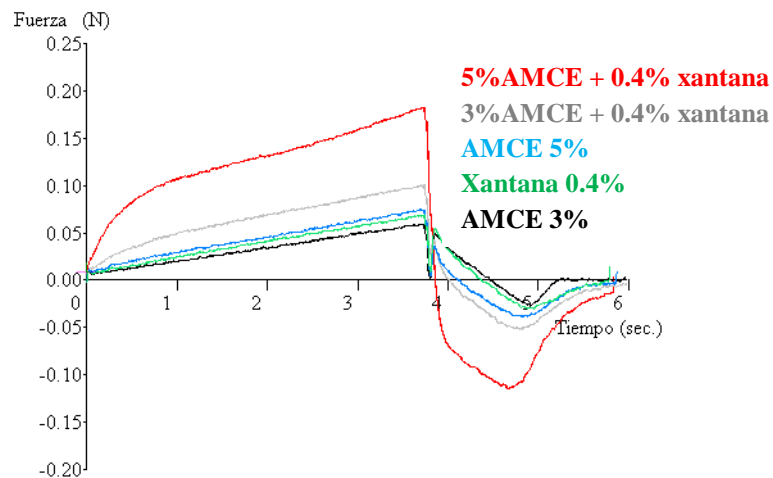
Figura 3.19. Gráfico comparativo de la prueba de adhesividad de las mezclas xantana/AMCE.

El análisis estadístico (Anexo 1) refleja que existe interacción entre el AMCE y la xantana en todos los parámetros evaluados con excepción al trabajo de penetración, ya que éste último tiene un valor de P de 0.112, actuando cada hidrocoloide por igual afectando al sistema en relación de conforme se incrementa la concentración empleada también lo hace el valor del parámetro textural.

El cambio textural que tienen los hidrocoloides solos al momento de mezclarse se evidencia con mayor claridad en la Figuras 3.20 y 3.21, observando en ellas que existe un sinergismo ya que las curvas de las mezclas quedan por arriba de las de los hidrocoloides solos, potencializándose realmente con una concentración alta de almidón.



*Figura 3.20.* Gráfico comparativo de la prueba de adhesividad de las mezclas de xantana al 0.2% con AMCE y los hidrocoloides solos.

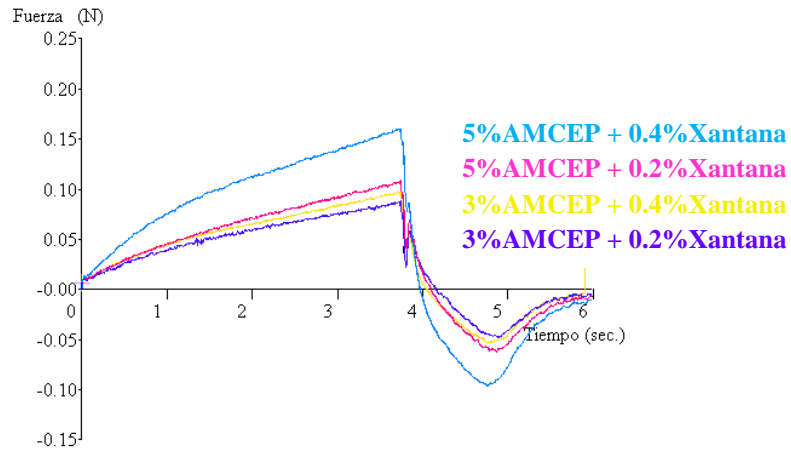


*Figura 3.21.* Gráfico comparativo de la prueba de adhesividad de las mezclas de xantana al 0.4% con AMCE y los hidrocoloides solos.

Ahora bien, las mezclas AMCEP/xantana (Figura 3.22) también se rigen primeramente por la concentración de almidón y después por la de xantana, ya que mientras mayor sea la concentración de almidón empleado más consistente se va siendo el sistema, observándose que esta vez no existe sinergismo en la mezcla (ver Cuadro 16) ya que los valores de la fuerza y trabajo de penetración, fuerza adhesiva y estiramiento son menores a la suma que se tiene con los hidrocoloides solos, que por otro lado el valor de adhesividad sí muestra sinergismo en cada una de las mezclas. La tendencia entre mezclas sigue siendo el de incrementar el valor de los parámetros texturales, exceptuando al estiramiento, conforme se aumenta la concentración del AMCEP y más si se aumenta la concentración de xantana, lo que se refleja en el análisis estadístico (Anexo 1) es que sí existe interacción entre los hidrocoloides por tener un valor en P de 0, afectando al sistema por la adición de cada hidrocoloide que aporta sus propiedades texturales por igual, destacando que el estiramiento no se ve afectado por alguno de ellos.

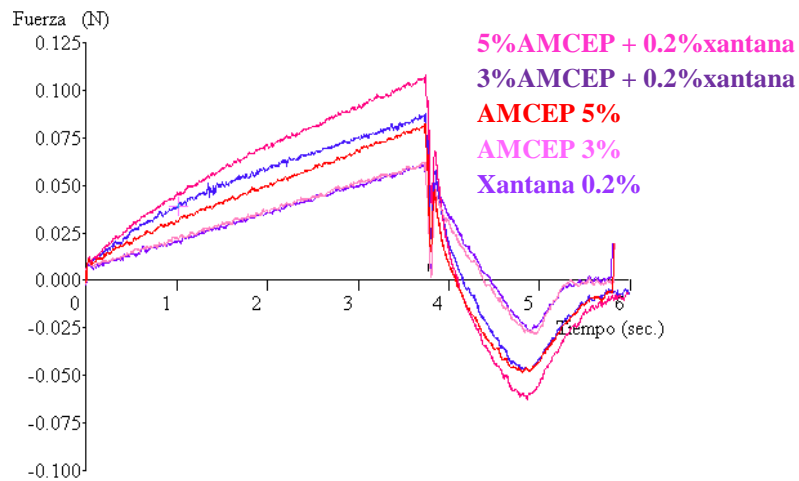
Cuadro 16: *Parámetros texturales de la prueba de penetración de las mezclas AMCEP/xantana en comparación con los hidrocoloides solos.*

Mezcla o hidrocoloide	Fuerza de penetración (N)	Trabajo de penetración (N·s)	Fuerza adhesiva (N)	Estiramiento (mm)	Adhesividad (N·s)
5% AMCEP + 0.4% xantana	0.151	0.352	0.091	21.5	0.098
5% AMCEP + 0.2% xantana	0.108	0.239	0.064	22.4	0.063
3% AMCEP + 0.4% xantana	0.096	0.221	0.054	18.4	0.051
3% AMCEP + 0.2% xantana	0.088	0.199	0.049	21.6	0.044
XANTANA 0.2%	0.060	0.123	0.027	10.8	0.013
XANTANA 0.4%	0.068	0.139	0.032	14.14	0.023
AMCEP 3%	0.062	0.126	0.029	14.36	0.015
AMCEP 5%	0.082	0.173	0.049	17.32	0.047

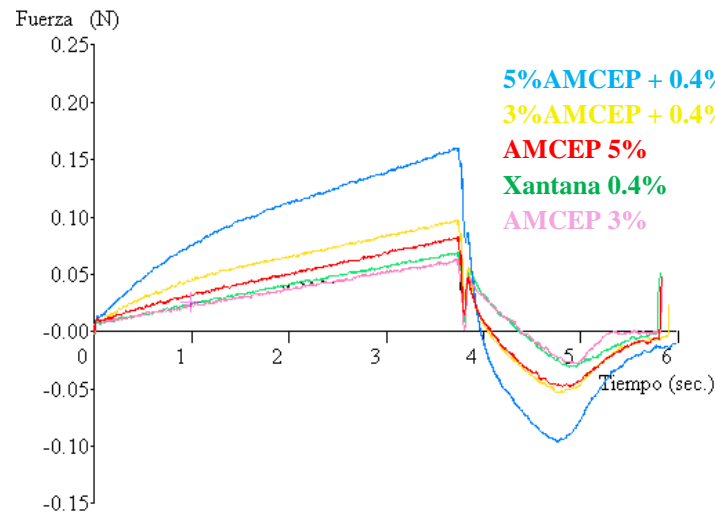


*Figura 3.22.* Gráfico comparativo de la prueba de adhesividad de las mezclas xantana/AMCEP.

Las Figuras 3.23 y 3.24 muestran el cambio que tienen los hidrocoloides solos al momento de mezclarse entre sí, observándose que existe mayor diferencia en la zona de adhesividad con la mezcla 5% AMCEP con xantana.



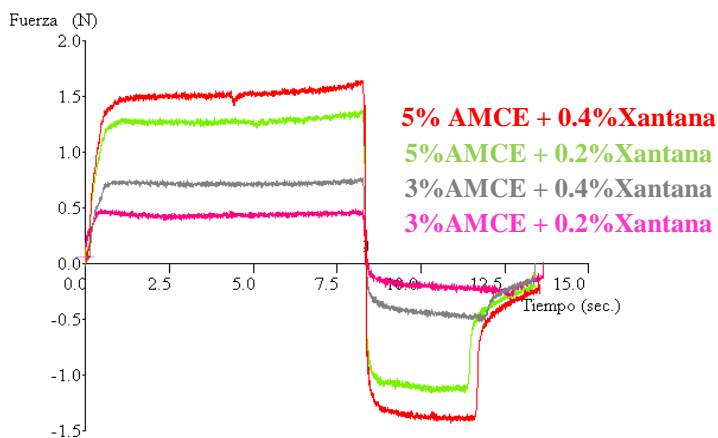
*Figura 3.23.* Gráfico comparativo de la prueba de adhesividad de las mezclas de xantana al 0.2% con AMCEP y los hidrocoloides solos.



*Figura 3.24.* Gráfico comparativo de la prueba de adhesividad de las mezclas de xantana al 0.4% con AMCE y los hidrocoloides solos.

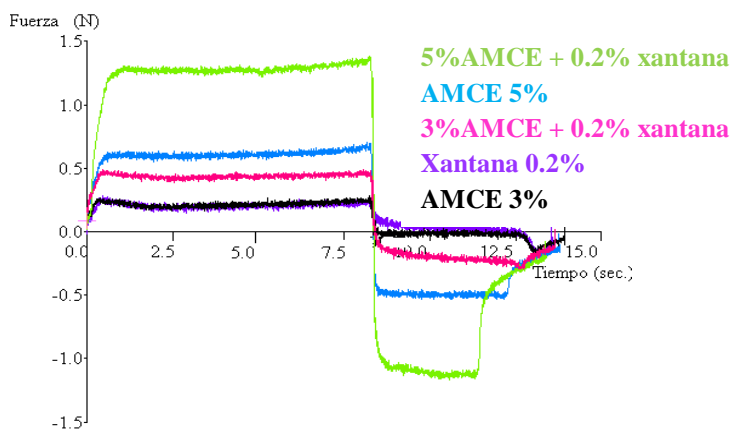
En cuanto a la consistencia del sistema, la Figura 3.25 muestra la concentración de almidón sigue gobernando sobre la xantana, es decir, el almidón sigue dando un carácter más consistente conforme se aumenta la cantidad utilizada en cada sistema. El Cuadro 17 muestra que los valores de los parámetros texturales considerados para esta prueba reflejan que existe un sinergismo al comparar los valores de la resistencia y trabajo de extrusión así como la fuerza máxima y fuerza promedio de extrusión con la suma de los hidrocoloides por separado, siguiendo la tendencia de incrementar su valor al aumentar la concentración de almidón y de xantana.

El análisis estadístico (Anexo 1) refleja que no existe interacción entre al AMCE y la xantana en el trabajo de extrusión y fuerza máxima de extrusión debido a que reflejan un valor en P de 0.96 y 0.42 respectivamente, mientras que en los demás parámetros (resistencia e inicio de la extrusión y la fuerza promedio de extrusión) la interacción entre hidrocoloides, siendo afectado principalmente por el almidón.



*Figura 3.25.* Gráfico comparativo de la prueba de extrusión negativa de la mezcla AMCE/xantana.

Comparando las curvas de la mezcla AMCE/xantana con los hidrocoloides por separado (Figuras 3.26 y 3.27) se observa que al utilizar la goma a una menor concentración (0.2%) las curvas de las mezclas sobrepasan a las curvas del almidón sólo, es decir, la mezcla 3%AMCE + 0.2%xantana queda por arriba de la curva del AMCE al 3% y la mezcla 5%AMCE + 0.2%xantana pasa a la curva del AMCE al 5%, como era de esperarse, sin embargo, al utilizar xantana al 0.4% ambas mezclas sobrepasan incluso la curva del almidón al 5%, lo que supone que conforme se aumenta la concentración de xantana en la mezcla, la consistencia de la misma es mucho mayor, incluso se ve reflejado al comparar los valores en el Cuadro 17.



*Figura 3.26.* Gráfico comparativo de la prueba de extrusión negativa de las mezclas de xantana al 0.2% con AMCE y los hidrocoloides solos.



Cuadro 17: *Parámetros texturales de la prueba de extrusión negativa de las mezclas AMCE/xantana en comparación de los hidrocoloides solos.*

Mezcla o hidrocoloide	Resistencia a la extrusión (N/s)	Inicio de la extrusión (mm)	Trabajo de extrusión (N·s)	Fuerza promedio de extrusión (N)	Fuerza máxima de extrusión (N)
5% AMCE + 0.4% xantana	8.895	1.732	11.73	1.518	1.644
5% AMCE + 0.2% xantana	7.814	2.057	9.746	1.281	1.376
3% AMCE + 0.4% xantana	5.083	1.860	5.500	0.717	0.764
3% AMCE + 0.2% xantana	1.259	1.298	3.428	0.435	0.485
XANTANA 0.2%	0.581	1.195	1.629	0.204	0.278
XANTANA 0.4%	0.813	1.290	2.389	0.302	0.354
AMCE 3%	0.703	1.043	1.695	0.213	0.277
AMCE 5%	1.838	1.518	4.749	0.608	0.699

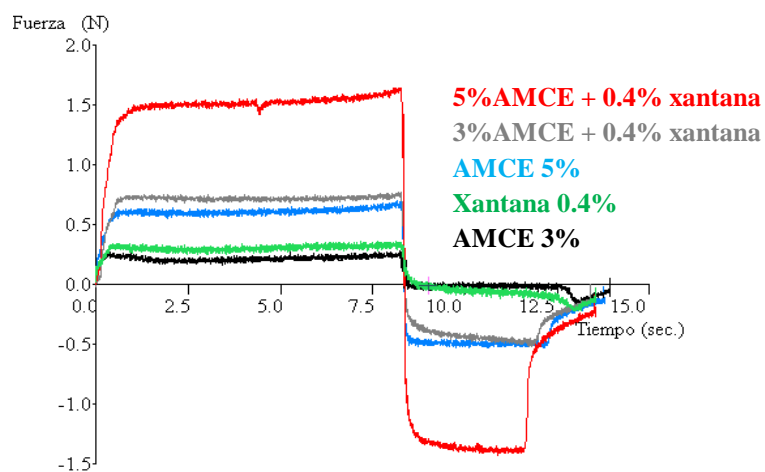
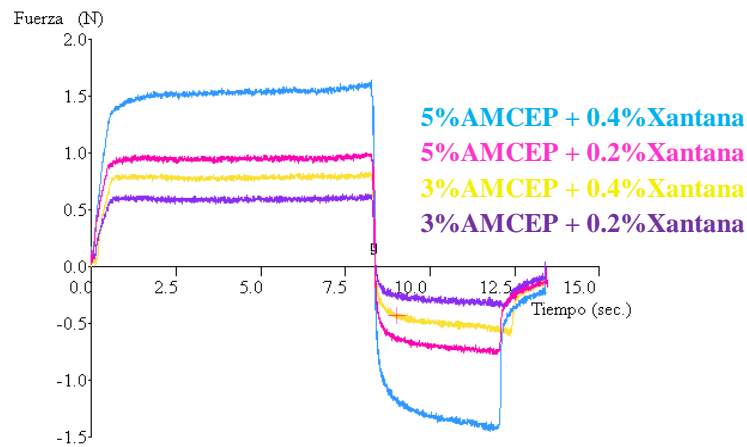


Figura 3.27. Gráfico comparativo de la prueba de extrusión negativa de las mezclas de xantana al 0.4% con AMCE y los hidrocoloides solos.

La Figura 3.28 muestra que la concentración del almidón sigue predominando sobre la de la xantana, pero con una separación mucho mayor en la curva de la mezcla que tiene la mayor concentración de hidrocoloides. El Cuadro 18, muestra que los valores de cada mezcla se

potencializan con los de la suma de los hidrocoloides solos, existiendo un sinergismo y la tendencia de conforme se aumenta la concentración de los hidrocoloides los valores texturales incrementan en cada parámetro de esta prueba con excepción del inicio a la extrusión. El análisis factorial (Anexo 1) refleja que no existe una interacción entre hidrocoloides en la resistencia e inicio de la extrusión por tener un valor de P de 0.256 y 0.595 respectivamente, predominando el carácter de la xantana; mientras en el trabajo de extrusión, fuerza promedio y fuerza máxima de extrusión sí existe interacción con un valor de P de 0, afectando cada hidrocoloide por igual al sistema.

En las Figuras 3.29 y 3.30 se evidencia cómo se va dando el cambio en la textura de la xantana y el AMCEP al momento de combinarlos, observándose una mayor diferencia al emplear una concentración de AMCEP mayor (5%), potencializándose en cada caso los valores que implican la consistencia del sistema.



*Figura 3.28.* Gráfico comparativo de la prueba de extrusión negativa de la mezcla AMCEP/xantana.

Cuadro 18: *Parámetros texturales de la prueba de extrusión negativa de las mezclas AMCEP/xantana en comparación con los hidrocoloides solos.*

Mezcla o hidrocoloide	Resistencia a la extrusión (N/s)	Inicio de la extrusión (mm)	Trabajo de extrusión (N·s)	Fuerza promedio de extrusión (N)	Fuerza máxima de extrusión (N)
5% AMCEP + 0.4% xantana	4.454	1.865	11.71	1.527	1.641
5% AMCEP + 0.2% xantana	3.5	1.755	7.324	0.948	0.997
3% AMCEP + 0.4% xantana	3.637	1.975	5.964	0.784	0.832
3% AMCEP + 0.2% xantana	2.681	1.945	4.529	0.591	0.639
XANTANA 0.2%	0.581	1.195	1.629	0.204	0.278
XANTANA 0.4%	0.813	1.29	2.389	0.302	0.354
AMCEP 3%	0.703	1.043	1.695	0.213	0.277
AMCEP 5%	1.838	1.518	4.749	0.608	0.699

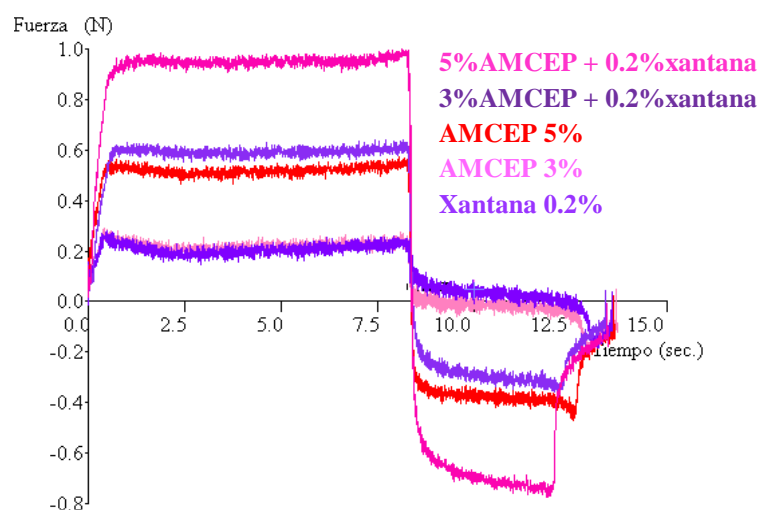


Figura 3.29. Gráfico comparativo de la prueba de extrusión negativa de las mezclas de xantana al 0.2% con AMCEP y los hidrocoloides solos.

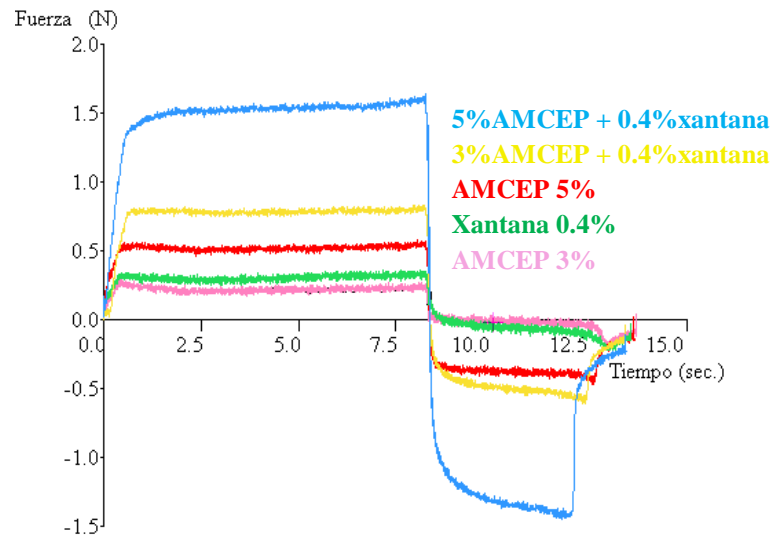
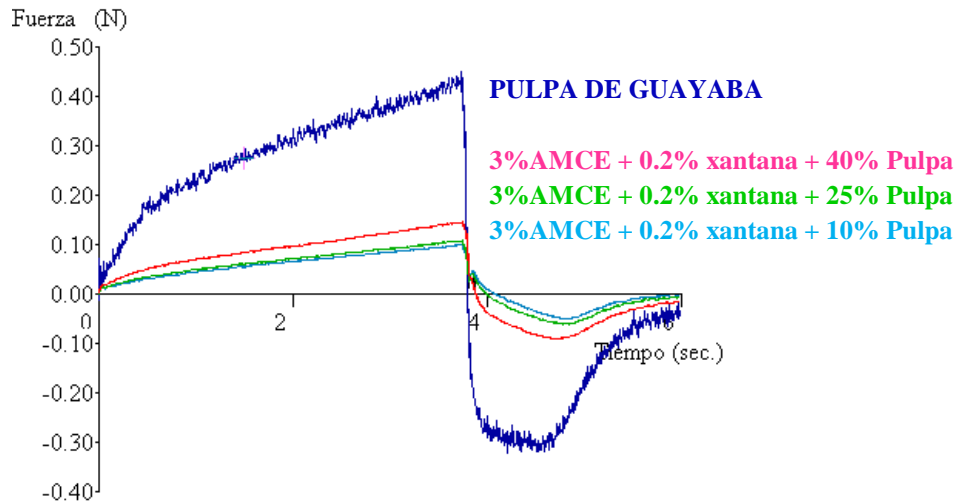


Figura 3.30. Gráfico comparativo de la prueba de extrusión negativa de las mezclas de xantana al 0.4% con AMCEP y los hidrocoloides solos.

### 3.2.3 Sistemas con pulpa de fruta

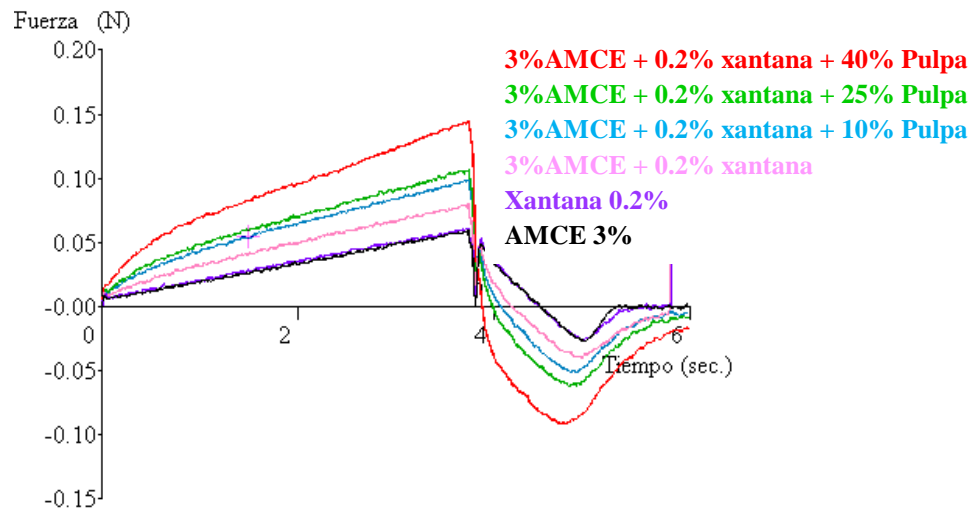
La Figura 3.31 compara a los sistemas que contienen AMCE (3%), xantana (0.2%) y pulpa de guayaba (10, 25 y 40 %) con la pulpa sola, para darse una idea de la consistencia que alcanzan a tener estos sistemas considerando la tendencia que tiene la pulpa de guayaba, observando que texturalmente la pulpa presenta valores altos de adhesividad y consistencia (Cuadro 19). También se evidencia que conforme se adiciona más pulpa al sistema los valores de los parámetros texturales incrementan.

El Cuadro 19 muestra lo reflejado en el análisis estadístico (Anova), existiendo una diferencia significativa en la fuerza de penetración, trabajo de penetración, fuerza adhesiva y adhesividad de los sistemas siendo diferentes entre sí, en el caso del estiramiento el sistema que contiene el 25% de pulpa es semejante a los de 10% y 40%.



*Figura 3.31.* Gráfico comparativo de la prueba de adhesividad de las mezclas de AMCE/xantana con diferentes concentraciones de pulpa de guayaba en comparación con la pulpa sola.

En la Figura 3.32 se puede apreciar la tendencia que van teniendo los sistemas en su textura al momento de adicionar la pulpa, existiendo una diferencia mayor en el cambio de la fase continua a la curva que contiene el 10% de pulpa y de la curva que contiene el 25% de la misma a la que contiene el 40%. En el Cuadro 19 se observa como el valor de adhesividad de los sistemas del 25 al 40 % de pulpa aumenta de uno a otro en casi al doble del valor mientras que en la fuerza de penetración de los mismos se observa un cambio muy ligero en el valor; los demás parámetros siguen en aumento conforme se aumenta la concentración de la pulpa existiendo una práctica similitud en el valor del estiramiento alcanzado del sistema con el 40% de pulpa y la pulpa sola.



*Figura 3.32.* Gráfico comparativo de la prueba de adhesividad de las mezclas de AMCE/xantana con diferentes concentraciones de pulpa de guayaba en comparación con la fase continua y los hidrocoloides solos.

Las Figura 3.33 hace la comparación de los sistemas que contienen AMCEP (3%), xantana (0.2%) y pulpa de guayaba (10, 25 y 40%) mostrando de igual manera que con el AMCE, una gran diferencia con la curva de la pulpa sola. En el Cuadro 19 se presentan los valores de los parámetros texturales que van en aumento conforme se incrementa la cantidad de pulpa adicionada al sistema, cabe destacar que dichos valores son incluso menores o iguales a los obtenidos en los sistemas que contienen al almidón que no está pregelatinizado. Existe una diferencia estadística significativa en los valores de fuerza de penetración, fuerza adhesiva, y adhesividad entre cada sistema con pulpa; en los valores de trabajo de penetración no existe diferencia con los sistemas que contienen el 10 y 25 %de sólidos, y en el estiramiento la diferencia no se ve reflejada en los sistemas de 25 y 40 %. La adhesividad de los sistemas con AMCEP son completamente diferentes a los obtenidos con el AMCE.

En la Figura 3.34 se aprecia como el cambio de la fase continua al momento de agregar el 10% de pulpa es muy ligero, existiendo un cambio mayor entre los sistemas con pulpa. Comparando los valores de los parámetros texturales (Cuadro 19) de los sistemas que contienen AMCEP con los de AMCE, se observa que proporciona menos adhesividad o

incluso igual que los del almidón de maíz ceroso entrecruzado, observándose una mayor diferencia entre los valores que contiene el 40% de pulpa.

Cuadro 19: *Parámetros texturales de la prueba de penetración de los sistemas almidón/xantana y diferentes concentraciones de pulpa de guayaba en comparación con la pulpa sola.*

Sistema	Fuerza de penetración (N)	Trabajo de penetración (N·s)	Fuerza adhesiva (N)	Estiramiento (mm)	Adhesividad (N·s)
3% AMCE+0.2% xantana+10% Pulpa	0.099 <sup>a</sup>	0.223 <sup>a</sup>	0.052 <sup>a</sup>	22.50 <sup>a</sup>	0.049 <sup>a</sup>
3% AMCE+0.2% xantana+25% Pulpa	0.107 <sup>b</sup>	0.244 <sup>b</sup>	0.063 <sup>b</sup>	21.80 <sup>ab</sup>	0.067 <sup>b</sup>
3% AMCE+0.2% xantana+40% Pulpa	0.144 <sup>c</sup>	0.336 <sup>c</sup>	0.092 <sup>c</sup>	24.37 <sup>b</sup>	0.120 <sup>c</sup>
3% AMCEP+0.2% xantana+10% Pulpa	0.093 <sup>a</sup>	0.208 <sup>ab</sup>	0.052 <sup>a</sup>	21.80 <sup>a</sup>	0.044 <sup>d</sup>
3% AMCEP+0.2% xantana+25% Pulpa	0.107 <sup>b</sup>	0.244 <sup>b</sup>	0.059 <sup>b</sup>	22.88 <sup>b</sup>	0.061 <sup>e</sup>
3% AMCEP+0.2% xantana+40% Pulpa	0.128 <sup>d</sup>	0.290 <sup>d</sup>	0.078 <sup>d</sup>	23.78 <sup>ab</sup>	0.092 <sup>f</sup>
Pulpa de guayaba	0.447	1.069	0.322	24.76	0.413

Valores con el mismo superíndice son estadísticamente iguales con un nivel de significancia de 0.05 al aplicar la prueba de Tukey.

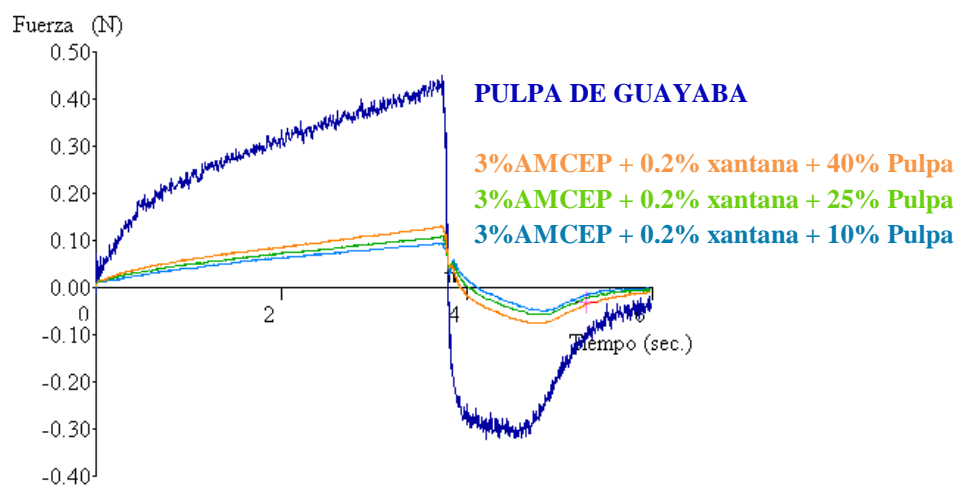
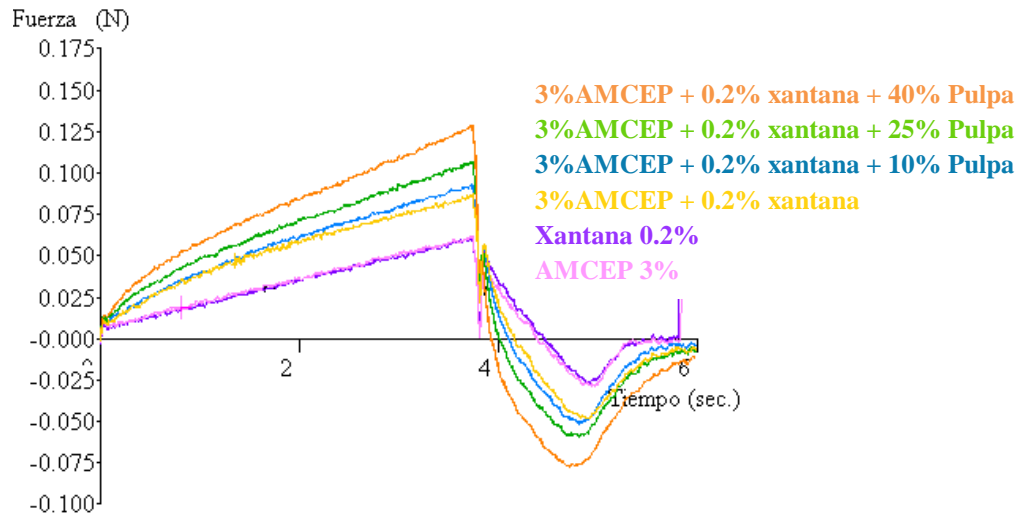


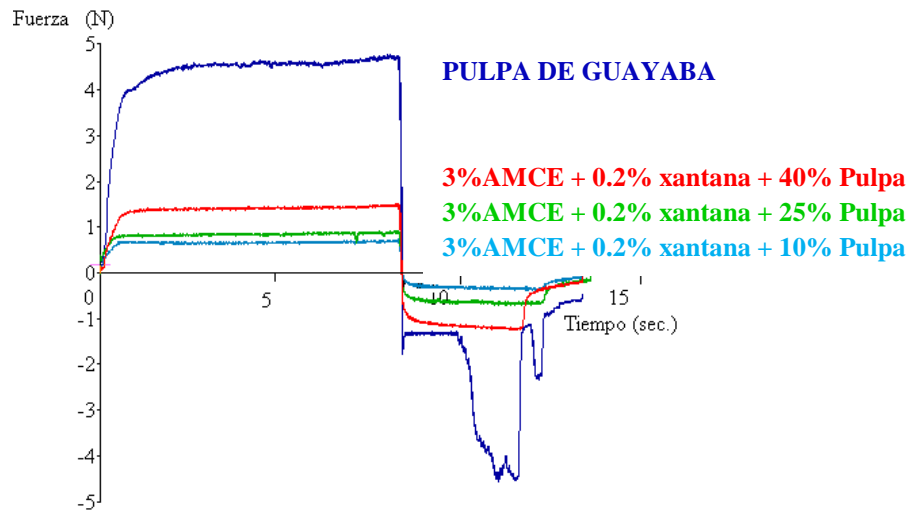
Figura 3.33. Gráfico comparativo de la prueba de adhesividad de las mezclas de AMCEP/xantana con diferentes concentraciones de pulpa de guayaba en comparación con la pulpa sola.



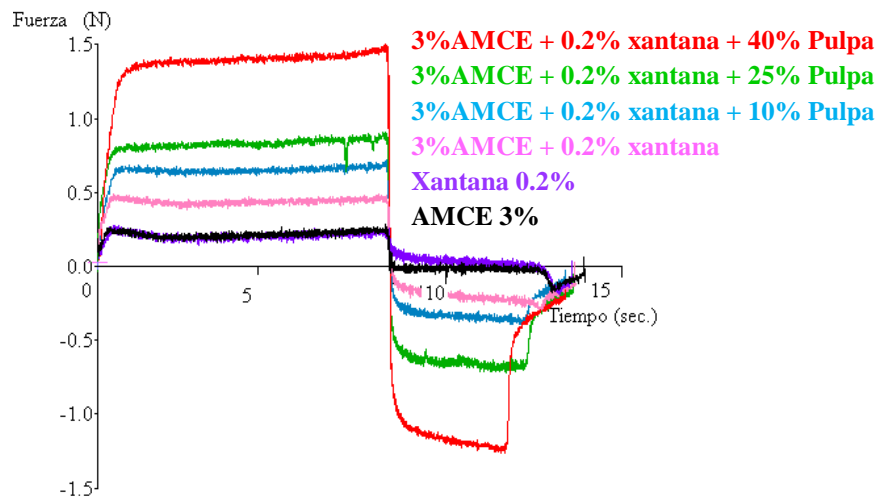
*Figura 3.34.* Gráfico comparativo de la prueba de adhesividad de las mezclas de AMCEP/xantana con diferentes concentraciones de pulpa de guayaba en comparación con la fase continua y los hidrocoloides solos.

En cuanto a consistencia la Figura 3.35 refleja que, como se esperaba, la pulpa sola tiene mayor consistencia que los sistemas con pulpa de guayaba, mientras que la Figura 3.36 muestra el comparativo de las curvas de los hidrocoloides solos, fase continua y los sistemas con pulpa, que tal y como se muestra en el Cuadro 20, el aumento del trabajo de extrusión y la fuerza promedio de extrusión es de 1.5 y 2 unidades, respectivamente, hasta el momento de adicionar el 10 y 25 % de pulpa, sin embargo este incremento es mucho mayor cuando se adiciona el 40 %. La diferencia estadística se refleja en los valores del trabajo de extrusión, la fuerza promedio y la fuerza máxima de extrusión entre los tres sistemas, ya que no existe diferencia significativa en el inicio de la extrusión entre ellos, y la resistencia a la extrusión no difiere en los sistemas con 10 y 25 % de pulpa.





*Figura 3.35.* Gráfico comparativo de la prueba de extrusión negativa de las mezclas de AMCE/xantana con diferentes concentraciones de pulpa de guayaba en comparación con la pulpa sola.



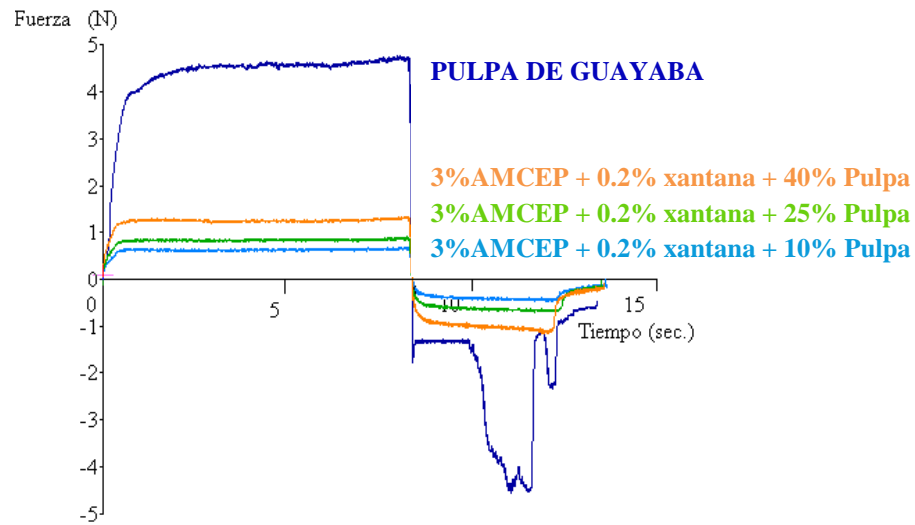
*Figura 3.36.* Gráfico comparativo de la prueba de extrusión negativa de las mezclas de AMCE/xantana con diferentes concentraciones de pulpa de guayaba en comparación con la fase continua y los hidrocoloides solos.

En la Figura 3.37 se muestra que los sistemas con AMCEP presentan la misma tendencia de incrementar su consistencia y los valores de sus parámetros texturales (Cuadro 20) conforme se adiciona mayor cantidad de sólidos al sistema, existiendo una diferencia significativa en los valores de trabajo de penetración, fuerza promedio y fuerza máxima de extrusión entre cada sistema, por el contrario no hay diferencia estadística entre ellos en los valores de inicio de la extrusión y en la resistencia sólo se diferencia el sistema que contiene el 40% de pulpa con los de 10 y 25 % que son iguales entre sí. Los valores de todos los parámetros texturales de esta prueba siguen siendo menores a los de los sistemas que contienen al AMCE. Como se observa en la Figura 3.38, la diferencia entre la fase continua y el sistema con el 10% de pulpa es nula, la diferencia se ve reflejada a una alta concentración de la misma (40%).

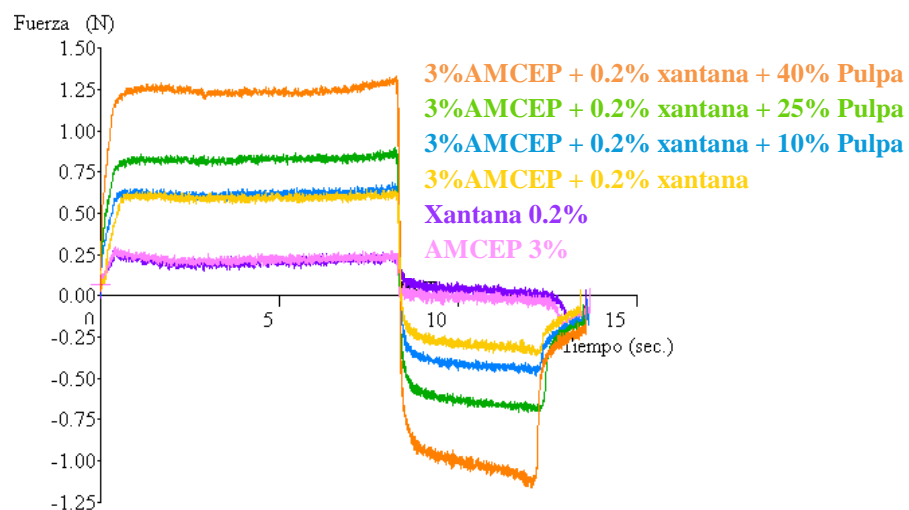
Cuadro 20: *Parámetros texturales de la prueba de extrusión negativa de los sistemas de almidón/ xantana con diferentes concentraciones de pulpa de guayaba en comparación de la pulpa sola.*

Sistema	Resistencia a la extrusión (N/s)	Inicio de la extrusión (mm)	Trabajo de extrusión (N·s)	Fuerza promedio de extrusión (N)	Fuerza máxima de extrusión (N)
3% AMCE+0.2% xantana+10% Pulpa	2.660 <sup>a</sup>	1.490 <sup>a</sup>	5.068 <sup>a</sup>	0.649 <sup>a</sup>	0.718 <sup>a</sup>
3% AMCE+0.2% xantana+25% Pulpa	2.773 <sup>a</sup>	1.558 <sup>a</sup>	6.440 <sup>b</sup>	0.827 <sup>b</sup>	0.903 <sup>b</sup>
3% AMCE+0.2% xantana+40% Pulpa	5.231 <sup>b</sup>	2.057 <sup>a</sup>	10.630 <sup>c</sup>	1.397 <sup>cd</sup>	1.499 <sup>c</sup>
3% AMCEP+0.2% xantana+10% Pulpa	2.334 <sup>a</sup>	1.410 <sup>a</sup>	4.809 <sup>a</sup>	0.614 <sup>a</sup>	0.680 <sup>a</sup>
3% AMCEP+0.2% xantana+25% Pulpa	2.308 <sup>a</sup>	1.595 <sup>a</sup>	6.401 <sup>b</sup>	0.823 <sup>b</sup>	0.896 <sup>b</sup>
3% AMCEP+0.2% xantana+40% Pulpa	4.914 <sup>b</sup>	1.425 <sup>a</sup>	9.703 <sup>d</sup>	1.240 <sup>d</sup>	1.328 <sup>d</sup>
Pulpa de guayaba	15.95	2.005	34.41	4.507	4.755

Valores con el mismo superíndice son estadísticamente iguales con un nivel de significancia de 0.05 al aplicar la prueba de Tukey.

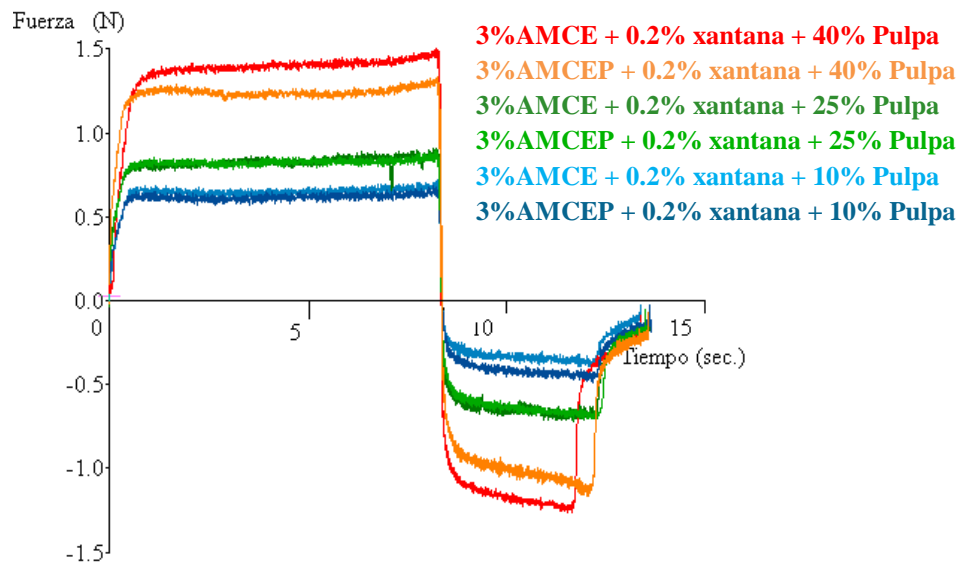


*Figura 3.37.* Gráfico comparativo de la prueba de extrusión negativa de las mezclas de AMCEP/xantana con diferentes concentraciones de pulpa de guayaba en comparación con la pulpa sola.



*Figura 3.38.* Gráfico comparativo de la prueba de extrusión negativa de las mezclas de AMCEP/xantana con diferentes concentraciones de pulpa de guayaba en comparación con la fase continua y los hidrocoloides solos.

La diferencia que muestran los dos almidones al momento de combinarlos con xantana y pulpa de guayaba se evidencia en la Figura 3.39, que junto con los valores del Cuadro 20, los sistemas con AMCE muestran valores mayores que los de los sistemas con AMCEP, sin embargo, el análisis estadístico refleja que no existe diferencia significativa en los sistemas con una concentración del 10 y 25% al usar dos tipos de almidón, pero sí con altas concentraciones de sólidos (40%).



*Figura 3.39.* Gráfico comparativo de extrusión negativa de los sistemas almidón/xantana y diferentes concentraciones de pulpa de guayaba de la prueba.

### 3.3 Estabilidad acelerada

El Cuadro 21 muestra los resultados del volumen y porcentaje de separación de las suspensiones con diferentes concentraciones de pulpa de guayaba, donde se observa que al aumentar la concentración de pulpa en el sistema mayor volumen de ésta es precipitado, no teniendo diferencia significativa entre uno u otro almidón en el porcentaje de separación, por lo que se puede asumir que ambos almidones logran en el mismo grado la suspensión de las partículas.

Cuadro 21: *Resultados obtenidos de la prueba de estabilidad de las suspensiones con pulpa de fruta.*

Sistema	pH	Volumen de separación de pulpa (ml)	Porcentaje de separación de pulpa (%)
0.2% xan+3% AMCE+10% Pulpa	3.54	0.37 <sup>a</sup>	3.75 <sup>a</sup>
0.2% xan+3% AMCE+25% Pulpa	3.51	1.10 <sup>b</sup>	10.10 <sup>b</sup>
0.2% xan+3% AMCE+40% Pulpa	3.54	1.55 <sup>c</sup>	15.5 <sup>c</sup>
0.2% xan+3% AMCEP+10% Pulpa	3.46	0.35 <sup>a</sup>	3.5 <sup>a</sup>
0.2% xan+3% AMCEP+25% Pulpa	3.65	1.10 <sup>b</sup>	10.10 <sup>b</sup>
0.2% xan+3% AMCEP+40% Pulpa	3.58	1.65 <sup>c</sup>	16.50 <sup>c</sup>

Valores con el mismo superíndice son estadísticamente iguales con un nivel de significancia de 0.05 al aplicar la prueba de Tukey.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La evaluación de la mezcla de hidrocoloides reflejó, que tanto el AMCE como el AMCEP presentaron sinergismo con la xantana, principalmente sobre los valores de índice de consistencia ( $K$ ) en la caracterización reológica, así como en los parámetros texturales de adhesividad y consistencia; teniendo mayor efecto en el sistema la concentración de almidón que la de la xantana.

La mezcla AMCE/xantana presentó, comparativamente, mayores valores en  $K$  que el otro almidón y fue incluso más fluidificante al presentar menores valores en el índice de comportamiento al flujo ( $n$ ) mientras en los valores texturales obtenidos de esta misma mezcla fueron también los más adhesivos, y a concentraciones altas (5%) los más consistentes. El análisis estadístico reflejó que el almidón y la xantana sí tienen una interacción entre sí (Anexo 1), aportando por igual sus propiedades funcionales a la mezcla, siguiendo la relación de que conforme se incrementa la concentración del hidrocoloide mayor es el valor de los parámetros texturales obtenidos, la diferencia entre cada parámetro se aprecia más utilizando las concentraciones más altas para cada hidrocoloide.

Los sistemas con pulpa presentaron comportamiento adelgazante a la cizalla rigiéndose por la ley de la potencia, no existiendo diferencia significativa en el valor del índice de comportamiento al flujo ( $n$ ) al aumentar la concentración de sólidos con cada almidón, existiendo una diferencia significativa en los valores de  $K$  en los sistemas que contienen AMCE, siendo este tipo de almidón el que proporciona una mayor consistencia. La diferencia entre el uso de los almidones se refleja en el comportamiento al flujo que presenta el sistema desde la fase continua al momento de adicionar la pulpa: con AMCE, tanto la fase continua como los sistemas con pulpa y la pulpa presentan prácticamente la misma tendencia de flujo ( $n \approx 0.3$ ), no existiendo diferencia entre ellos; con AMCEP la fase continua tiene un valor más alto ( $n \approx 0.4$ ) que los sistemas con pulpa ( $n \approx 0.35$ ) y la pulpa ( $n \approx 0.3$ ). Por los valores de  $n$ , los sistemas con AMCE se caracterizaron por seguir siendo más susceptibles a la cizalla.

En cuanto a los parámetros texturales, los sistemas con pulpa reflejaron diferencia estadística entre cada sistema en el valor de adhesividad, pero en los parámetros de trabajo de extrusión, fuerza promedio y fuerza máxima de extrusión sólo se observó diferencia estadística en el cambio de concentración de 10 a 25 % de sólidos, mientras que las mezclas con el 40 % de pulpa la diferencia se dio incluso entre cada almidón. Aún así los valores texturales en cada prueba caracterizaron a los sistemas con AMCE como los más adhesivos y consistentes, conservando las características que tiene este almidón, en presencia de xantana, incluso al adicionar pulpa de fruta, conservándose así en un medio ácido ( $\text{pH} \approx 3.5$ ) en sistemas con baja consistencia como lo es la pulpa de guayaba.

Al trabajar una misma variedad de almidón, el simple hecho de recibir un tratamiento físico en su proceso de obtención, el AMCEP tiene un gránulo que ha sido de cierta forma dañado, restringiendo la gelatinización, provocando el no presentar cambios significativos en su comportamiento al momento de mezclar con xantana y la pulpa.

En cuanto a la estabilidad del sistema, no existe diferencia entre uno u otro almidón en el porcentaje de separación de sólidos, por lo que se recomienda una prueba de estabilidad de barrido de luz laser para determinar la forma en que las partículas se encuentran dispersas dentro de la suspensión.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abdulmola N. A., Hember M. W. N., Richardson R. K., Morris E. R. (1996). Effect of xanthan on the small-deformation rheology of crosslinked and uncrosslinked waxy maize starch. *Carbohydrate polymers*. 31, 65-78.
- Achayuthakan P., Suphantharika M. (2008). Pasting and rheological properties of waxy corn starch as affected by guar gum and xanthan gum. *Carbohydrate Polymers*. 71, 9-17.
- Acquarone V. M., Rao M. A., (2003). Influence of sucrose on the rheology and granule size of croos-linked waxy maize starch dispersions heated at two temperatures. *Carbohydrate Polymers*, 51, 451-458.
- Andrade R. D., Ortega F. A., Montes E. J., Torres R., Pérez O. A., Castro M., Gutierrez L.A. (2009). Caracterización Físicoquímica y Reológica de la pulpa de guayaba (*Psidium guajava* L.) Variedades Híbrido de Klom Sali, Puerto Rico, D14 y Red. *Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*. 16, 13-18.
- Annable P., Fitton M. G., Harris B., Phillips G. OG., Williams P. A. (1994). Phase behavior and rheology of mixed polymer systems containing starch. *Food hydrocolloids*. 8, 351-359.
- Barrett D. (2005). *Processing Fruits. Science and Technology*. 2ª ed. USA. CRC PRESS. 308-314.
- Belton P. (2007). *The Chemical Physics of Food*. UK. Blackwell publishing ltd. 47-48
- Branen A. L., Davidson M. P., Salminen S. (1990). *Food Additives*. New York. Marcel Dekker, Inc. 395-421.
- Braun D. B., Rosen M. R. (2000). *Rheology Modifiers Handbook. Practical Use and Application*. USA. William Andrew Publishing. 19-26.
- Casas Alencáster N.B. (2009). *Manual del Taller Multidisciplinario de Ingeniería en alimentos, reología y textura. Propiedades texturales*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Chaudemanche C, Budtova T. (2008). Mixtures of pregelatinised maize starch and *k.carrageenan*. Compatibility, rheology and gelation. *Carbohydrate polymers*, 72, 579-589.



- Cui S. W. (2005). *Food Carbohydrates: Chemistry Physical Properties and Applications*. USA. Taylor and Francis Group. 51-54, 299-385.
- Dumitriu S. (2005). *Polysaccharides. Structural Diversity and Functional Versatility*. USA. Marcel Dekker, Inc. 605-609.
- Eliasson A. C. (2006). *Carbohydrate in Food*. 2° ed. USA. Taylor and Francis Group. 233-451.
- El-Nokaly M. A., Soini H. A. (1999). Polysaccharide Applications. Cosmetic and pharmaceuticals. USA. American Chemical Society. 252-254.
- Fanelli, B. Almidones. Consultado en Mayo del 2011. Disponible en: [http://psцени.blog.unq.edu.ar/modules/docmanager/get\\_file.php?curent\\_file=78&curent\\_dir=26](http://psцени.blog.unq.edu.ar/modules/docmanager/get_file.php?curent_file=78&curent_dir=26)
- Fuentes R. M. E. (2003). *Caracterización Reológica de Geles de Goma Gellan Mediante Pruebas Dinámicas*. México. Tesis de Licenciatura en Ingeniera en Alimentos. FESC, UNAM.
- Genovese D. B., Lozano J. E. (2001). The effect of hydrocolloids on the stability and viscosity of cloudy apple juices. *Food hydrocolloids*. 15, 1-7.
- Glicksman M. (1969). *Gum Technology in the Food Industry*. California. Academic Press, Inc. 8
- Imeson A. (1997). *Thickening and Gelling Agents for Food*. UK. Chapman and Hall. 205, 206-213, 284-311.
- Jerome A. (2009). *Colloid Chemistry: Principles and Applications*. 4° ed. USA. D. Van Nostrad Company. 10
- Katzbauer B. (1997). Properties and applications of xanthan gum. *Science Limited*, 59, 81-84.
- Kress-Rogers E., Brimelow C. J. B. (2001). *Instrumentation and Sensors for the Food Industry*. 2° ed. England. Woodhead Publishing Limied and CRC Press CLC. 428
- Lee F. A., Ph D (1983). *Basic Food Chemistry*. 2° ed. USA. The Avi Publishing Company. 25.
- Liang C., Hu X., Ni Y., Wu J., Chen F., Liao X. (2006). Effect of hydrocolloids and pulp sediment, white sediment, turbidity and viscosity of reconstituted carrot juice. *Food hydrocolloids*. 20, 1190-1197.

- Lozano J. E. (2006). *Fruit Manufacturing. Scientific Basis, Engineering Properties, and Deteriorative Reactions of Technological Importance*. USA. Springer Science. 73-94, 109,114.
- Maron S.H., Prutton C.F. (2008). *Fundamentos de Fisicoquímica*. Méx. Limusa, S.A. de C.V. 849-853, 859-861.
- Martínez M. J. (2010). *Impacto de la Interacción Entre  $\beta$ -Lactoglobulina, Caseinoglicomacropéptido y Polisacáridos en Coloides Alimentarios*. Buenos Aires. Tesis de Doctorado en Química Industrial. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Industrias, Universidad de Buenos Aires. Consultado en octubre del 2011. Disponible en: [http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis\\_4570\\_Martinez.pdf](http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_4570_Martinez.pdf)
- Martínez P. L. P., López A. F., Tecante A. (2004). Steady and oscillatory shear behavior of fluid gels formed by binary mixtures of xanthan and gellan. *Food hydrocolloids*. 18, 471-481
- Meng Y., Rao M. A., (2005). Rheological and structural properties of cold-water-swelling and heated cross-linked waxy maize starch dispersions prepared in apple juice and water. *Carbohydrate polymers*. 60, 291-300.
- Mohsenin N. N. (1996). *Physical Properties of Plant and Animal Material. Structure, Physical Characteristics and Mechanical Properties*. Canada. Gordon and Beach Publishers. 141-150
- Morrison I. D., Ross S. (2002). *Colloidal Dispersions. Suspensions, Emulsions and Foams*. USA. Wiley-Interscience. 16-47, 499-529
- Moskowitz H. R. (1987). *Food Texture. Instrumental and Sensory Measurement*. New York. Marcel Dekker, Inc.
- Núñez A. Y. (2009). *Efecto del Manejo Frigorífico en las Propiedades Texturales de Masas Congeladas de Maíz Nixtamalizado*. México. Tesis de Licenciatura en Ingeniería en Alimentos. FESC, UNAM.
- Pomeranz Y. (1991). *Functional Properties of Food Components*. 2º ed. California. Academic Press, Inc. 29,34-40.
- Rao M. A. (1999). *Rheology of fluid and semisolid foods*. USA. Aspen publication, Inc. 25-35.

- Rodd A. B., Dunstan D. E., Boger D.V. (2000). Characterization of xanthan gum solutions using dynamic light scattering and rheology. *Carbohydrate polymers*. 42, 159-174.
- Rosenthal J., Tech B. (1999). *Food Texture, Measurement and Perception*. USA. Aspen publishers, Inc. 7-15, 107-115.
- Roudot A.C. (2004). *Reología y Análisis de la Textura de los Alimentos*. España. Acribia, S. A. 49-95
- Sajilata M. G., Singhal R. S. (2005). Specialty starches for snack foods. *Carbohydrate polymers*. 59, 131-151.
- Saunders K. J. (1998). *Organic Polymer Chemistry*. 2° ed. New York. Chapman and Hall. 312-314.
- Shaw D. J. (1990). *Introducción a la Química de Superficie y Coloides*. España. Alhambra, S.A.
- Singh J., Kaur L., McCarthy O. J. (2007). Factors influencing the physic-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications-A review. *Food hydrocolloids*. 21, 1-22.
- Steffe J. F. (1996). *Rheological Methods in Food Process Engineering*. 2° ed. USA. Freeman Press. 1-91
- Stephen A. M., Phillips G. O., Williams P. A. (2006). *Food Polysaccharides and Their Applications*. 2° ed. USA. Taylor and Francis Group. 36-37
- Tscheuschner H. (2001). *Fundamentos de Tecnología de los Alimentos*. España. Acribia, S.A. 155-161.
- Walstra P. (2003). *Physical Chemistry of Foods*. USA. Marcel Dekker, Inc. 282-293, 511-512.
- Wang B., Wang L., Li D., Ozkan N., Li S., Mao Z. (2009). Rheological properties of waxy maize starch and xanthan gum mixtures in presence of sucrose. *Carbohydrate polymers*, 77, 472-481.
- Wang B., Wang L., Li D., Zhou Y., Ozkan N., (2011). Shear-thickening properties of waxy maize starch dispersions. *Journal of food engineering*, 107, 415-423.
- Wei Y.P., Wang C.S., Wu J.S.B. (2001). Flow properties of fruit fillings. *Food research international*. 34, 377-381

- Williams P. A., Phillips G. O., (2002). *Gums and Stabilizers for the Food Industry*. UK. The Royal Society of Chemistry. 193.
- Wishtler R. L., Bemiller J. N., Paschall E. F. (1984). *Starch: Chemistry and Technology*. 2<sup>a</sup> ed. USA. Academic Press, Inc. 312-366.

## ANEXO 1. Análisis factorial de la mezcla de hidrocolides.

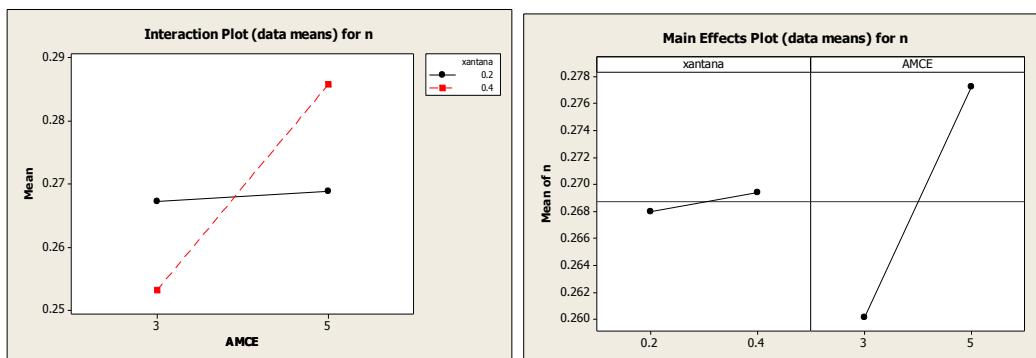
### Mezcla AMCE/Xantana.

#### Factorial Fit: n versus xantana, AMCE

Estimated Effects and Coefficients for n (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0.268725	0.001331	201.83	0.000
xantana	0.001400	0.000700	0.001331	0.53	0.627
AMCE	0.017100	0.008550	0.001331	6.42	0.003
xantana*AMCE	0.015550	0.007775	0.001331	5.84	0.004

S = 0.00376597 R-Sq = 94.98% R-Sq(adj) = 91.21%



Least Squares Means for n

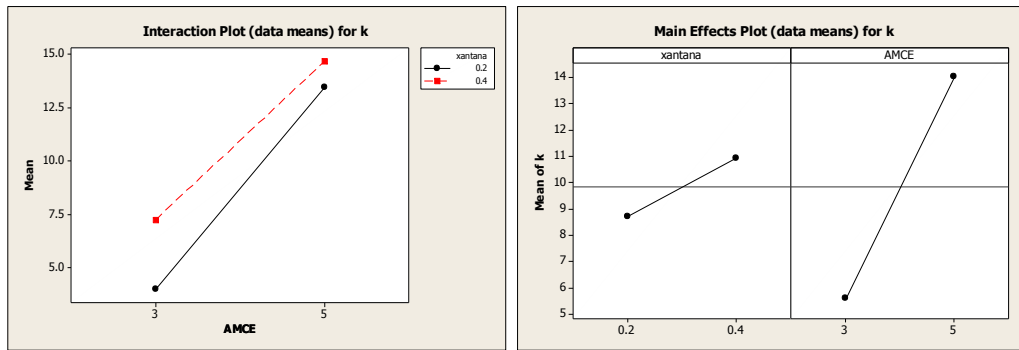
	Mean	SE Mean
xantana		
0.2000	0.2680	0.001883
0.4000	0.2694	0.001883
AMCE		
3	0.2602	0.001883
5	0.2773	0.001883
xantana*AMCE		
0.2000 3	0.2673	0.002663
0.4000 3	0.2531	0.002663
0.2000 5	0.2688	0.002663
0.4000 5	0.2858	0.002663

#### Factorial Fit: k versus xantana, AMCE

Estimated Effects and Coefficients for k (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		9.8334	0.05305	185.35	0.000
xantana	2.2296	1.1148	0.05305	21.01	0.000
AMCE	8.4352	4.2176	0.05305	79.50	0.000
xantana*AMCE	-1.0136	-0.5068	0.05305	-9.55	0.001

S = 0.150053 R-Sq = 99.94% R-Sq(adj) = 99.90%



Least Squares Means for k

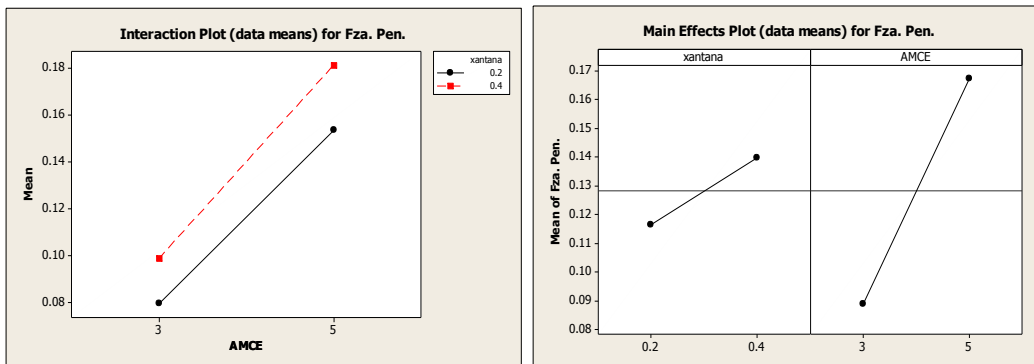
	Mean	SE Mean
xantana		
0.2000	8.719	0.07503
0.4000	10.948	0.07503
AMCE		
3	5.616	0.07503
5	14.051	0.07503
xantana*AMCE		
0.2000 3	3.994	0.10610
0.4000 3	7.237	0.10610
0.2000 5	13.443	0.10610
0.4000 5	14.659	0.10610

**Factorial Fit: Fza. Pen. versus xantana, AMCE**

Estimated Effects and Coefficients for Fza. Pen. (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0.128125	0.000599	213.73	0.000
xantana	0.023250	0.011625	0.000599	19.39	0.000
AMCE	0.078250	0.039125	0.000599	65.27	0.000
xantana*AMCE	0.004250	0.002125	0.000599	3.54	0.024

S = 0.00169558 R-Sq = 99.91% R-Sq(adj) = 99.85%



Least Squares Means for Fza. Pen.

	Mean	SE Mean
xantana		
0.2000	0.11650	0.000848
0.4000	0.13975	0.000848
AMCE		
3	0.08900	0.000848
5	0.16725	0.000848

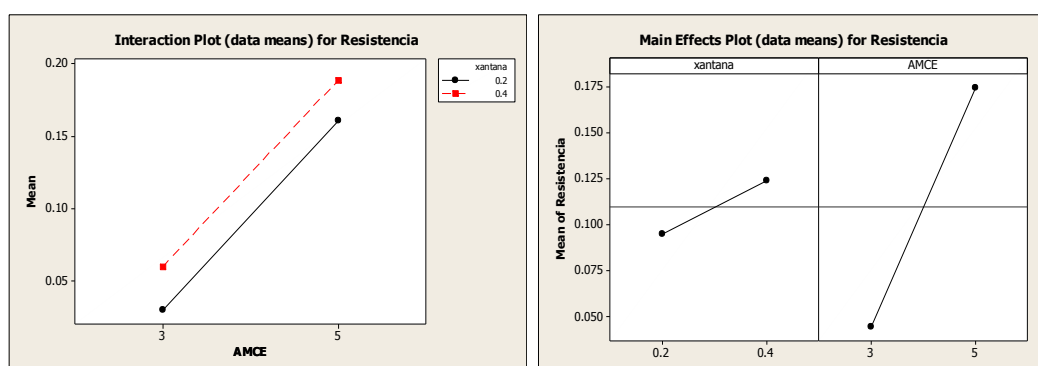
```
xantana*AMCE
0.2000 3      0.07950  0.001199
0.4000 3      0.09850  0.001199
0.2000 5      0.15350  0.001199
0.4000 5      0.18100  0.001199
```

### Factorial Fit: Resistencia versus xantana, AMCE

Estimated Effects and Coefficients for Resistencia (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0.109625	0.003241	33.83	0.000
xantana	0.029050	0.014525	0.003241	4.48	0.011
AMCE	0.129600	0.064800	0.003241	20.00	0.000
xantana*AMCE	-0.000900	-0.000450	0.003241	-0.14	0.896

S = 0.00916611 R-Sq = 99.06% R-Sq(adj) = 98.35%



Least Squares Means for Resistencia

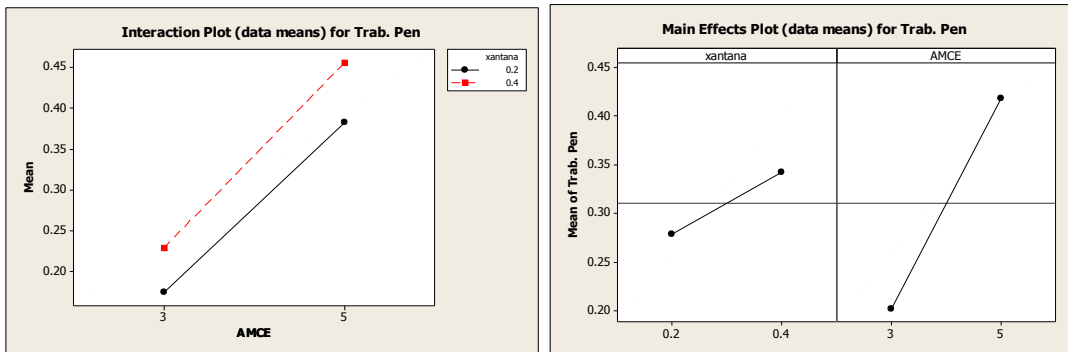
	Mean	SE Mean
xantana		
0.2000	0.09510	0.004583
0.4000	0.12415	0.004583
AMCE		
3	0.04483	0.004583
5	0.17443	0.004583
xantana*AMCE		
0.2000 3	0.02985	0.006481
0.4000 3	0.05980	0.006481
0.2000 5	0.16035	0.006481
0.4000 5	0.18850	0.006481

### Factorial Fit: Trab. Pen versus xantana, AMCE

Estimated Effects and Coefficients for Trab. Pen (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0.310300	0.002339	132.67	0.000
xantana	0.063700	0.031850	0.002339	13.62	0.000
AMCE	0.216800	0.108400	0.002339	46.35	0.000
xantana*AMCE	0.009500	0.004750	0.002339	2.03	0.112

S = 0.00661551 R-Sq = 99.83% R-Sq(adj) = 99.70%



Least Squares Means for Trab. Pen

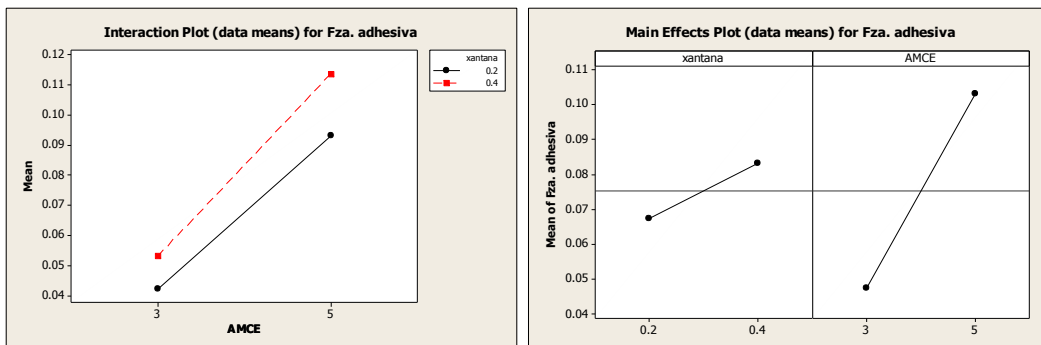
	Mean	SE Mean
xantana		
0.2000	0.2785	0.003308
0.4000	0.3422	0.003308
AMCE		
3	0.2019	0.003308
5	0.4187	0.003308
xantana*AMCE		
0.2000 3	0.1748	0.004678
0.4000 3	0.2290	0.004678
0.2000 5	0.3821	0.004678
0.4000 5	0.4553	0.004678

**Factorial Fit: Fza. adhesiva versus xantana, AMCE**

Estimated Effects and Coefficients for Fza. adhesiva (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0.075375	0.000673	111.97	0.000
xantana	0.015750	0.007875	0.000673	11.70	0.000
AMCE	0.055750	0.027875	0.000673	41.41	0.000
xantana*AMCE	0.004750	0.002375	0.000673	3.53	0.024

S = 0.00190394 R-Sq = 99.79% R-Sq(adj) = 99.63%



Least Squares Means for Fza. adhesiva

	Mean	SE Mean
xantana		
0.2000	0.06750	0.000952
0.4000	0.08325	0.000952
AMCE		
3	0.04750	0.000952
5	0.10325	0.000952



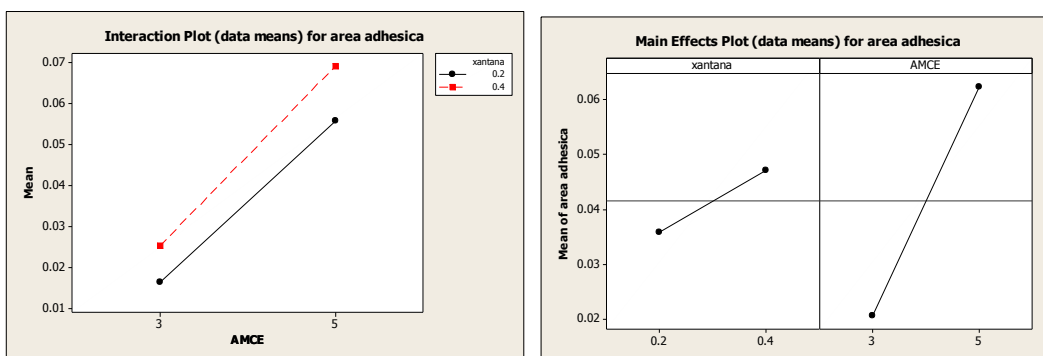
```
xantana*AMCE
0.2000 3      0.04200  0.001346
0.4000 3      0.05300  0.001346
0.2000 5      0.09300  0.001346
0.4000 5      0.11350  0.001346
```

**Factorial Fit: area adhesica versus xantana, AMCE**

Estimated Effects and Coefficients for area adhesica (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0.041513	0.000923	44.97	0.000
xantana	0.011175	0.005587	0.000923	6.05	0.004
AMCE	0.041625	0.020812	0.000923	22.55	0.000
xantana*AMCE	0.002175	0.001087	0.000923	1.18	0.304

S = 0.00261079 R-Sq = 99.27% R-Sq(adj) = 98.73%



Least Squares Means for area adhesica

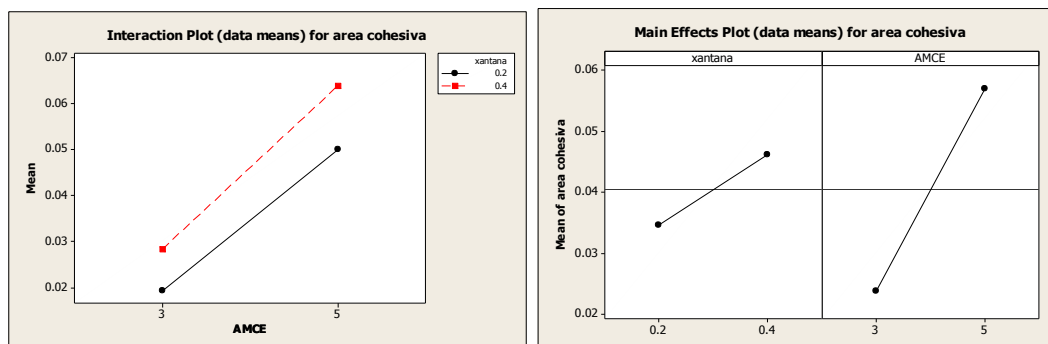
	Mean	SE Mean
xantana		
0.2000	0.03593	0.001305
0.4000	0.04710	0.001305
AMCE		
3	0.02070	0.001305
5	0.06233	0.001305
xantana*AMCE		
0.2000 3	0.01620	0.001846
0.4000 3	0.02520	0.001846
0.2000 5	0.05565	0.001846
0.4000 5	0.06900	0.001846

**Factorial Fit: area cohesiva versus xantana, AMCE**

Estimated Effects and Coefficients for area cohesiva (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0.040400	0.000867	46.60	0.000
xantana	0.011550	0.005775	0.000867	6.66	0.003
AMCE	0.033200	0.016600	0.000867	19.15	0.000
xantana*AMCE	0.002450	0.001225	0.000867	1.41	0.231

S = 0.00245204 R-Sq = 99.04% R-Sq(adj) = 98.32%



Least Squares Means for area cohesiva

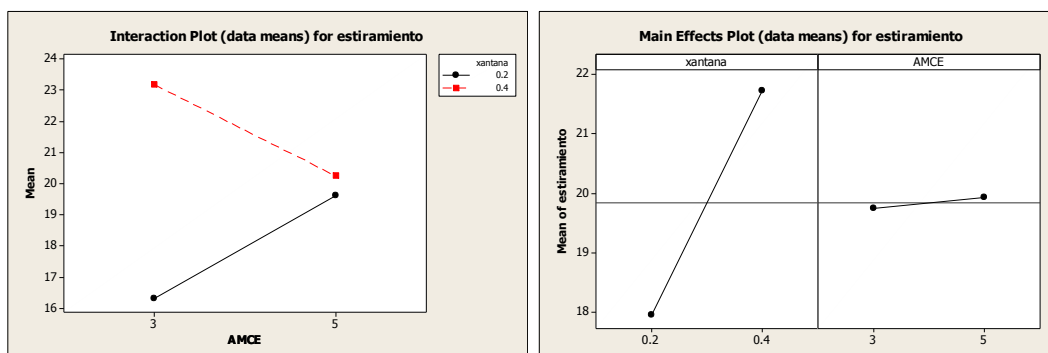
	Mean	SE Mean
xantana		
0.2000	0.03463	0.001226
0.4000	0.04618	0.001226
AMCE		
3	0.02380	0.001226
5	0.05700	0.001226
xantana*AMCE		
0.2000 3	0.01925	0.001734
0.4000 3	0.02835	0.001734
0.2000 5	0.05000	0.001734
0.4000 5	0.06400	0.001734

### Factorial Fit: estiramiento versus xantana, AMCE

Estimated Effects and Coefficients for estiramiento (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		19.837	0.3191	62.17	0.000
xantana	3.761	1.881	0.3191	5.89	0.004
AMCE	0.188	0.094	0.3191	0.30	0.782
xantana*AMCE	-3.123	-1.562	0.3191	-4.89	0.008

S = 0.902476    R-Sq = 93.63%    R-Sq(adj) = 88.85%



Least Squares Means for estiramiento

	Mean	SE Mean
xantana		
0.2000	17.96	0.4512
0.4000	21.72	0.4512
AMCE		
3	19.74	0.4512
5	19.93	0.4512
xantana*AMCE		
0.2000 3	16.30	0.6381
0.4000 3	23.19	0.6381

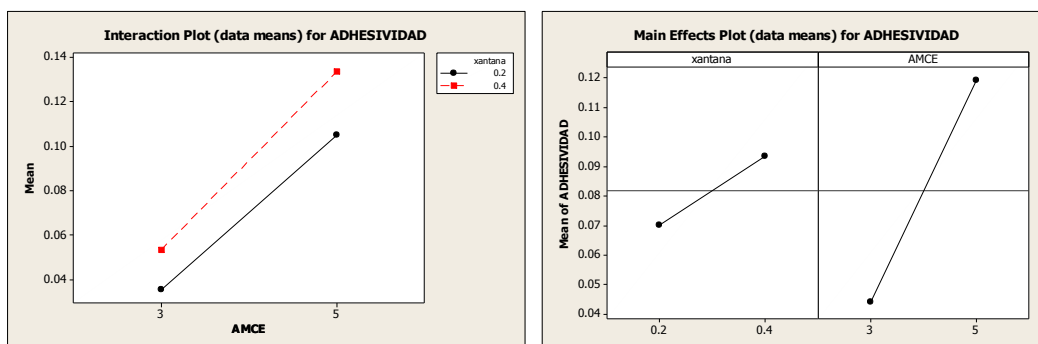
0.2000	5	19.61	0.6381
0.4000	5	20.25	0.6381

### Factorial Fit: ADHESIVIDAD versus xantana, AMCE

Estimated Effects and Coefficients for ADHESIVIDAD (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0.081775	0.000856	95.57	0.000
xantana	0.023300	0.011650	0.000856	13.61	0.000
AMCE	0.074950	0.037475	0.000856	43.80	0.000
xantana*AMCE	0.005200	0.002600	0.000856	3.04	0.038

S = 0.00242023 R-Sq = 99.81% R-Sq(adj) = 99.67%



Least Squares Means for ADHESIVIDAD

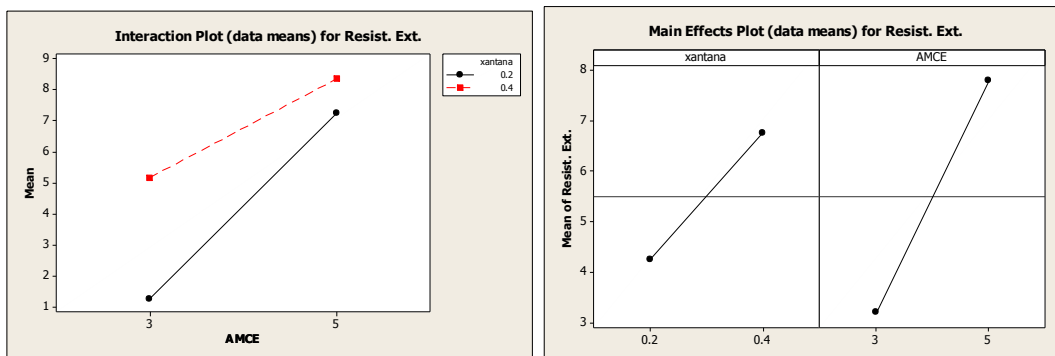
	Mean	SE Mean
xantana		
0.2000	0.07013	0.001210
0.4000	0.09343	0.001210
AMCE		
3	0.04430	0.001210
5	0.11925	0.001210
xantana*AMCE		
0.2000 3	0.03525	0.001711
0.4000 3	0.05335	0.001711
0.2000 5	0.10500	0.001711
0.4000 5	0.13350	0.001711

### Factorial Fit: Resist. Ext. versus xantana, AMCE

Estimated Effects and Coefficients for Resist. Ext. (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		5.5025	0.1995	27.58	0.000
xantana	2.4965	1.2483	0.1995	6.26	0.003
AMCE	4.5805	2.2902	0.1995	11.48	0.000
xantana*AMCE	-1.3910	-0.6955	0.1995	-3.49	0.025

S = 0.564290 R-Sq = 97.86% R-Sq(adj) = 96.26%



Least Squares Means for Resist. Ext.

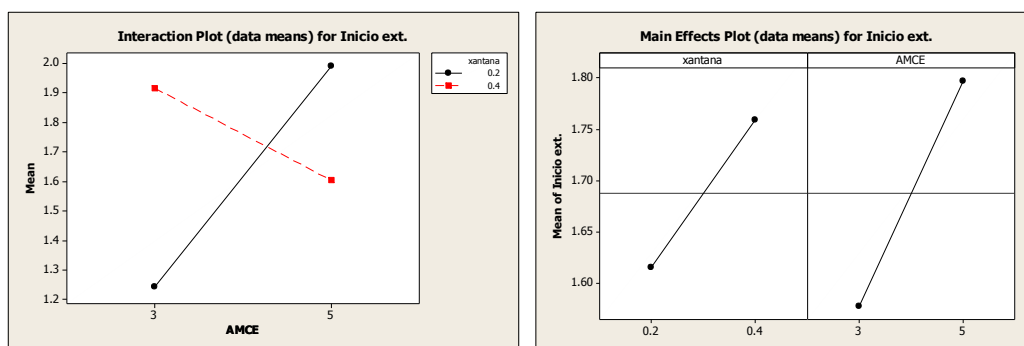
	Mean	SE Mean
xantana		
0.2000	4.254	0.2821
0.4000	6.751	0.2821
AMCE		
3	3.212	0.2821
5	7.793	0.2821
xantana*AMCE		
0.2000 3	1.269	0.3990
0.4000 3	5.156	0.3990
0.2000 5	7.240	0.3990
0.4000 5	8.346	0.3990

**Factorial Fit: Inicio ext. versus xantana, AMCE**

Estimated Effects and Coefficients for Inicio ext. (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		1.6875	0.04125	40.91	0.000
xantana	0.1435	0.0718	0.04125	1.74	0.157
AMCE	0.2185	0.1092	0.04125	2.65	0.057
xantana*AMCE	-0.5300	-0.2650	0.04125	-6.43	0.003

S = 0.116659 R-Sq = 92.77% R-Sq(adj) = 87.35%



Least Squares Means for Inicio ext.

	Mean	SE Mean
xantana		
0.2000	1.616	0.05833
0.4000	1.759	0.05833
AMCE		
3	1.578	0.05833
5	1.797	0.05833

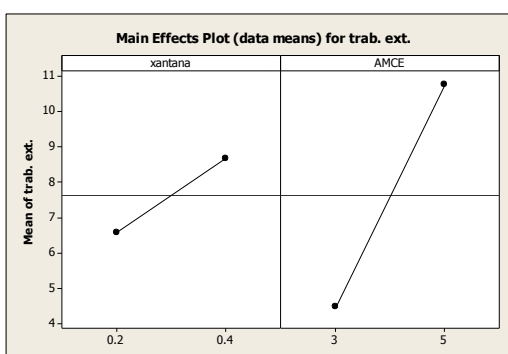
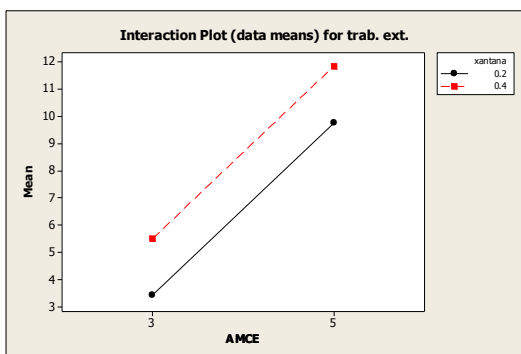
```
xantana*AMCE
0.2000 3      1.242  0.08249
0.4000 3      1.915  0.08249
0.2000 5      1.990  0.08249
0.4000 5      1.604  0.08249
```

**Factorial Fit: trab. ext. versus xantana, AMCE**

Estimated Effects and Coefficients for trab. ext. (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		7.62613	0.02164	352.39	0.000
xantana	2.07275	1.03637	0.02164	47.89	0.000
AMCE	6.30275	3.15137	0.02164	145.62	0.000
xantana*AMCE	0.00225	0.00113	0.02164	0.05	0.961

S = 0.0612097 R-Sq = 99.98% R-Sq(adj) = 99.97%



Least Squares Means for trab. ext.

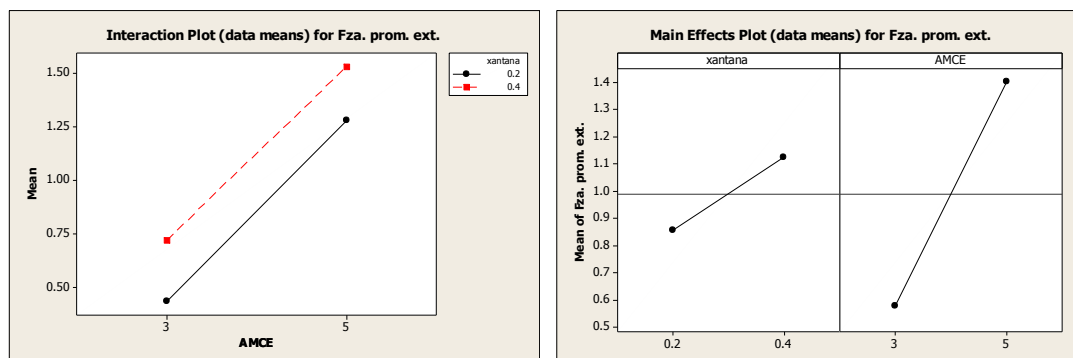
	Mean	SE Mean
xantana		
0.2000	6.590	0.03060
0.4000	8.663	0.03060
AMCE		
3	4.475	0.03060
5	10.778	0.03060
xantana*AMCE		
0.2000 3	3.440	0.04328
0.4000 3	5.510	0.04328
0.2000 5	9.740	0.04328
0.4000 5	11.815	0.04328

**Factorial Fit: Fza. prom. ext. versus xantana, AMCE**

Estimated Effects and Coefficients for Fza. prom. ext. (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0.989375	0.002546	388.53	0.000
xantana	0.267250	0.133625	0.002546	52.48	0.000
AMCE	0.823750	0.411875	0.002546	161.75	0.000
xantana*AMCE	-0.016750	-0.008375	0.002546	-3.29	0.030

S = 0.00720243 R-Sq = 99.99% R-Sq(adj) = 99.98%



Least Squares Means for Fza. prom. ext.

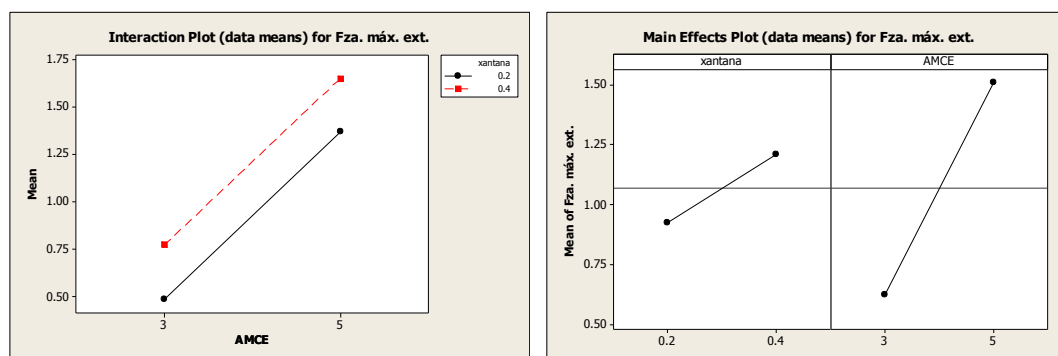
	Mean	SE Mean
xantana		
0.2000	0.8558	0.003601
0.4000	1.1230	0.003601
AMCE		
3	0.5775	0.003601
5	1.4013	0.003601
xantana*AMCE		
0.2000 3	0.4355	0.005093
0.4000 3	0.7195	0.005093
0.2000 5	1.2760	0.005093
0.4000 5	1.5265	0.005093

### Factorial Fit: Fza. máx. ext. versus xantana, AMCE

Estimated Effects and Coefficients for Fza. máx. ext. (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		1.06888	0.002666	400.88	0.000
xantana	0.28325	0.14163	0.002666	53.12	0.000
AMCE	0.88275	0.44137	0.002666	165.54	0.000
xantana*AMCE	-0.00475	-0.00238	0.002666	-0.89	0.423

S = 0.00754155    R-Sq = 99.99%    R-Sq(adj) = 99.98%



Least Squares Means for Fza. máx. ext.

	Mean	SE Mean
xantana		
0.2000	0.9273	0.003771
0.4000	1.2105	0.003771
AMCE		
3	0.6275	0.003771
5	1.5102	0.003771

```
xantana*AMCE
0.2000 3      0.4835  0.005333
0.4000 3      0.7715  0.005333
0.2000 5      1.3710  0.005333
0.4000 5      1.6495  0.005333
```

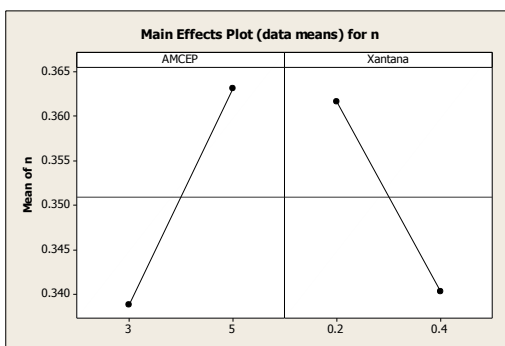
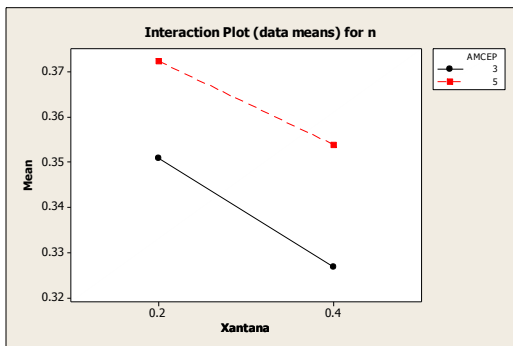
Mezcla AMCEP/Xantana.

**Factorial Fit: n versus AMCEP, Xantana**

Estimated Effects and Coefficients for n (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0.35094	0.001321	265.72	0.000
AMCEP	0.02428	0.01214	0.001321	9.19	0.001
Xantana	-0.02132	-0.01066	0.001321	-8.07	0.001
AMCEP*Xantana	0.00277	0.00139	0.001321	1.05	0.353

S = 0.00373547 R-Sq = 97.42% R-Sq(adj) = 95.48%



Least Squares Means for n

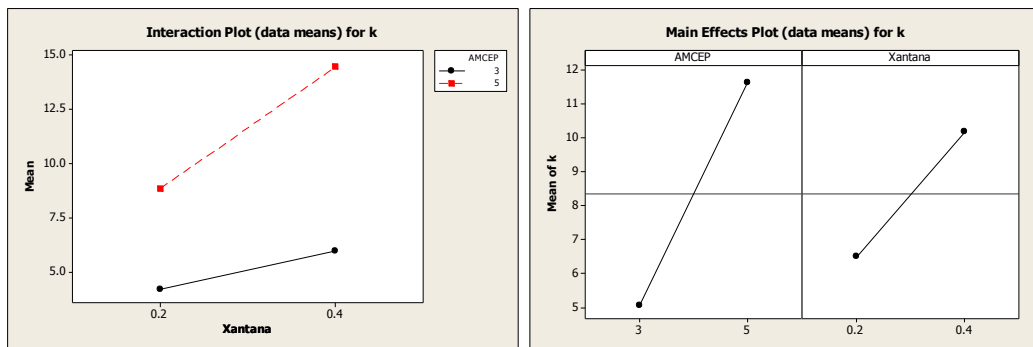
	Mean	SE Mean
AMCEP		
3	0.3388	0.001868
5	0.3631	0.001868
Xantana		
0.2000	0.3616	0.001868
0.4000	0.3403	0.001868
AMCEP*Xantana		
3 0.2000	0.3509	0.002641
5 0.2000	0.3724	0.002641
3 0.4000	0.3268	0.002641
5 0.4000	0.3538	0.002641

**Factorial Fit: k versus AMCEP, Xantana**

Estimated Effects and Coefficients for k (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		8.3553	0.04680	178.53	0.000
AMCEP	6.5674	3.2837	0.04680	70.16	0.000
Xantana	3.6843	1.8421	0.04680	39.36	0.000
AMCEP*Xantana	1.9288	0.9644	0.04680	20.61	0.000

S = 0.132371 R-Sq = 99.94% R-Sq(adj) = 99.90%



Least Squares Means for k

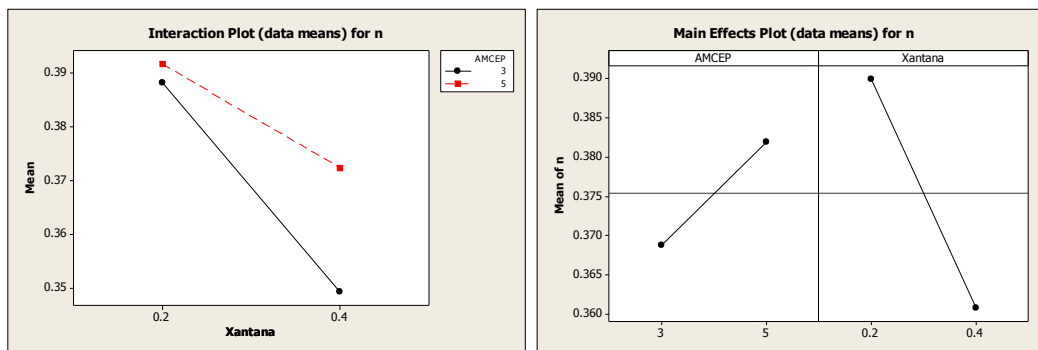
	Mean	SE Mean
AMCEP		
3	5.072	0.06619
5	11.639	0.06619
Xantana		
0.2000	6.513	0.06619
0.4000	10.197	0.06619
AMCEP*Xantana		
3 0.2000	4.194	0.09360
5 0.2000	8.832	0.09360
3 0.4000	5.949	0.09360
5 0.4000	14.446	0.09360

**Factorial Fit: n versus AMCEP, Xantana**

Estimated Effects and Coefficients for n (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0.37538	0.001312	286.14	0.000
AMCEP	0.01320	0.00660	0.001312	5.03	0.007
Xantana	-0.02905	-0.01452	0.001312	-11.07	0.000
AMCEP*Xantana	0.00980	0.00490	0.001312	3.74	0.020

S = 0.00371046 R-Sq = 97.59% R-Sq(adj) = 95.78%



Least Squares Means for n

	Mean	SE Mean
AMCEP		
3	0.3688	0.001855
5	0.3820	0.001855
Xantana		
0.2000	0.3899	0.001855
0.4000	0.3609	0.001855



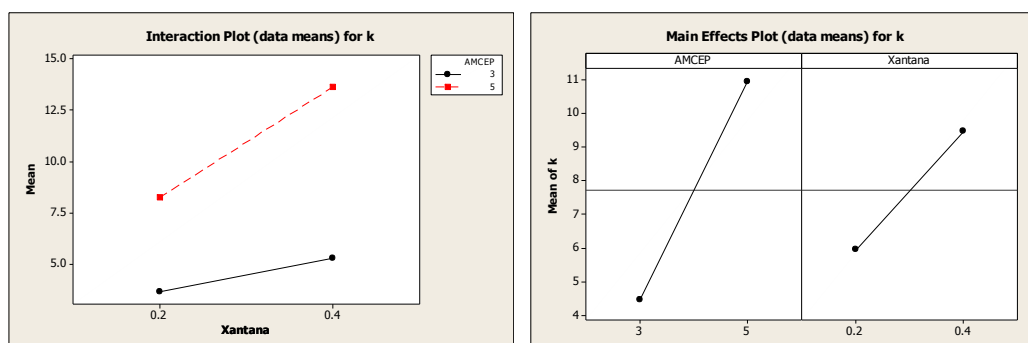
AMCEP*Xantana					
3	0.2000	0.3882	0.002624		
5	0.2000	0.3916	0.002624		
3	0.4000	0.3494	0.002624		
5	0.4000	0.3724	0.002624		

### Factorial Fit: k versus AMCEP, Xantana

Estimated Effects and Coefficients for k (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		7.7153	0.06313	122.21	0.000
AMCEP	6.4675	3.2338	0.06313	51.22	0.000
Xantana	3.5252	1.7626	0.06313	27.92	0.000
AMCEP*Xantana	1.8697	0.9349	0.06313	14.81	0.000

S = 0.178563 R-Sq = 99.89% R-Sq(adj) = 99.81%



Least Squares Means for k

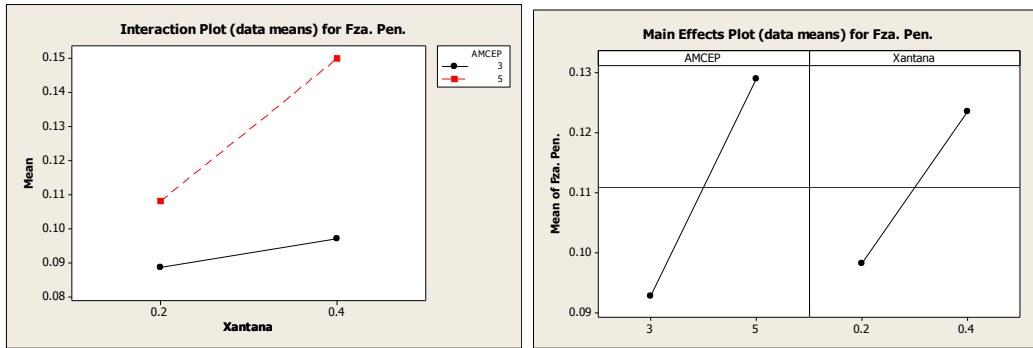
	Mean	SE Mean
AMCEP		
3	4.482	0.08928
5	10.949	0.08928
Xantana		
0.2000	5.953	0.08928
0.4000	9.478	0.08928
AMCEP*Xantana		
3 0.2000	3.654	0.12626
5 0.2000	8.252	0.12626
3 0.4000	5.309	0.12626
5 0.4000	13.647	0.12626

### Factorial Fit: Fza. Pen. versus AMCEP, Xantana

Estimated Effects and Coefficients for Fza. Pen. (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0.110875	0.000375	295.67	0.000
AMCEP	0.036250	0.018125	0.000375	48.33	0.000
Xantana	0.025250	0.012625	0.000375	33.67	0.000
AMCEP*Xantana	0.016750	0.008375	0.000375	22.33	0.000

S = 0.00106066 R-Sq = 99.90% R-Sq(adj) = 99.82%



Least Squares Means for Fza. Pen.

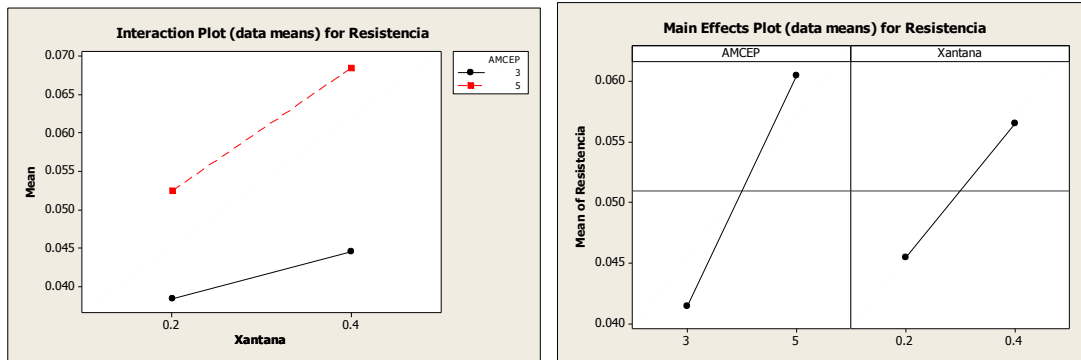
	Mean	SE Mean
AMCEP		
3	0.09275	0.000530
5	0.12900	0.000530
Xantana		
0.2000	0.09825	0.000530
0.4000	0.12350	0.000530
AMCEP*Xantana		
3 0.2000	0.08850	0.000750
5 0.2000	0.10800	0.000750
3 0.4000	0.09700	0.000750
5 0.4000	0.15000	0.000750

**Factorial Fit: Resistencia versus AMCEP, Xantana**

Estimated Effects and Coefficients for Resistencia (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0.050963	0.000547	93.21	0.000
AMCEP	0.019025	0.009513	0.000547	17.40	0.000
Xantana	0.011025	0.005512	0.000547	10.08	0.001
AMCEP*Xantana	0.004925	0.002463	0.000547	4.50	0.011

S = 0.00154637 R-Sq = 99.07% R-Sq(adj) = 98.37%



Least Squares Means for Resistencia

	Mean	SE Mean
AMCEP		
3	0.04145	0.000773
5	0.06048	0.000773
Xantana		
0.2000	0.04545	0.000773
0.4000	0.05648	0.000773

```

AMCEP*Xantana
3 0.2000      0.03840  0.001093
5 0.2000      0.05250  0.001093
3 0.4000      0.04450  0.001093
5 0.4000      0.06845  0.001093

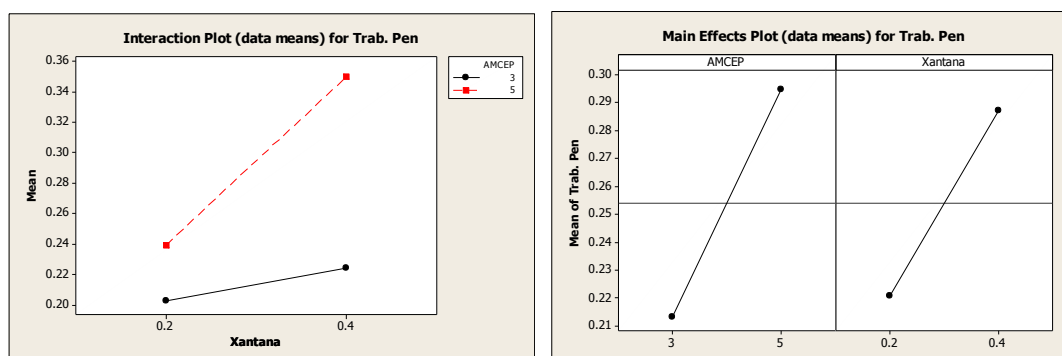
```

### Factorial Fit: Trab. Pen versus AMCEP, Xantana

Estimated Effects and Coefficients for Trab. Pen (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0.25386	0.001269	200.10	0.000
AMCEP	0.08128	0.04064	0.001269	32.03	0.000
Xantana	0.06622	0.03311	0.001269	26.10	0.000
AMCEP*Xantana	0.04458	0.02229	0.001269	17.57	0.000

S = 0.00358835    R-Sq = 99.80%    R-Sq(adj) = 99.65%



Least Squares Means for Trab. Pen

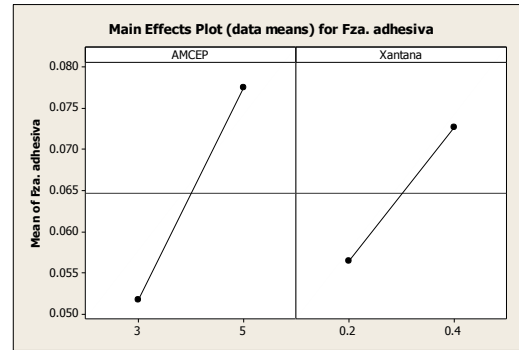
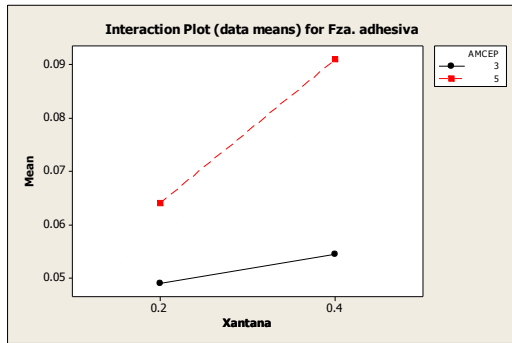
	Mean	SE Mean
AMCEP		
3	0.2132	0.001794
5	0.2945	0.001794
Xantana		
0.2000	0.2208	0.001794
0.4000	0.2870	0.001794
AMCEP*Xantana		
3 0.2000	0.2024	0.002537
5 0.2000	0.2391	0.002537
3 0.4000	0.2241	0.002537
5 0.4000	0.3499	0.002537

### Factorial Fit: Fza. adhesiva versus AMCEP, Xantana

Estimated Effects and Coefficients for Fza. adhesiva (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0.064625	0.000125	517.00	0.000
AMCEP	0.025750	0.012875	0.000125	103.00	0.000
Xantana	0.016250	0.008125	0.000125	65.00	0.000
AMCEP*Xantana	0.010750	0.005375	0.000125	43.00	0.000

S = 0.000353553    R-Sq = 99.98%    R-Sq(adj) = 99.96%



Least Squares Means for Fza. adhesiva

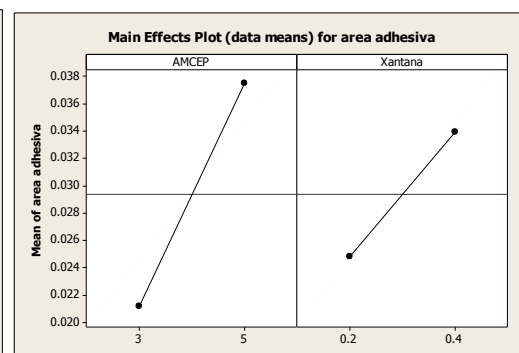
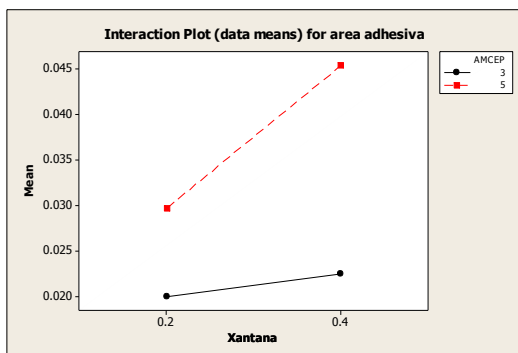
	Mean	SE Mean
AMCEP		
3	0.05175	0.000177
5	0.07750	0.000177
Xantana		
0.2000	0.05650	0.000177
0.4000	0.07275	0.000177
AMCEP*Xantana		
3 0.2000	0.04900	0.000250
5 0.2000	0.06400	0.000250
3 0.4000	0.05450	0.000250
5 0.4000	0.09100	0.000250

**Factorial Fit: area adhesiva versus AMCEP, Xantana**

Estimated Effects and Coefficients for area adhesiva (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0.029375	0.000574	51.21	0.000
AMCEP	0.016300	0.008150	0.000574	14.21	0.000
Xantana	0.009050	0.004525	0.000574	7.89	0.001
AMCEP*Xantana	0.006600	0.003300	0.000574	5.75	0.005

S = 0.00162250 R-Sq = 98.67% R-Sq(adj) = 97.68%



Least Squares Means for area adhesiva

	Mean	SE Mean
AMCEP		
3	0.02123	0.000811
5	0.03753	0.000811
Xantana		
0.2000	0.02485	0.000811
0.4000	0.03390	0.000811

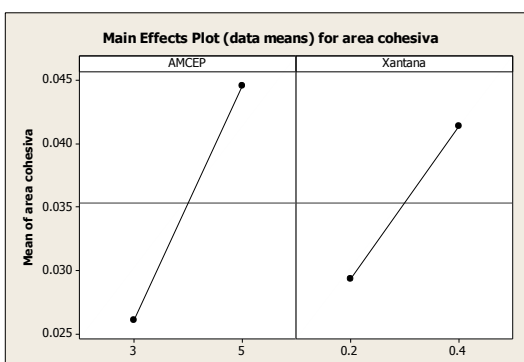
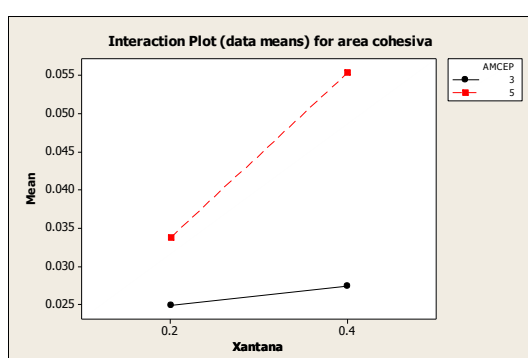
AMCEP*Xantana		
3	0.2000	0.02000 0.001147
5	0.2000	0.02970 0.001147
3	0.4000	0.02245 0.001147
5	0.4000	0.04535 0.001147

### Factorial Fit: area cohesiva versus AMCEP, Xantana

Estimated Effects and Coefficients for area cohesiva (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0.035350	0.001032	34.24	0.000
AMCEP	0.018450	0.009225	0.001032	8.94	0.001
Xantana	0.012000	0.006000	0.001032	5.81	0.004
AMCEP*Xantana	0.009550	0.004775	0.001032	4.62	0.010

S = 0.00292019 R-Sq = 97.12% R-Sq(adj) = 94.96%



Least Squares Means for area cohesiva

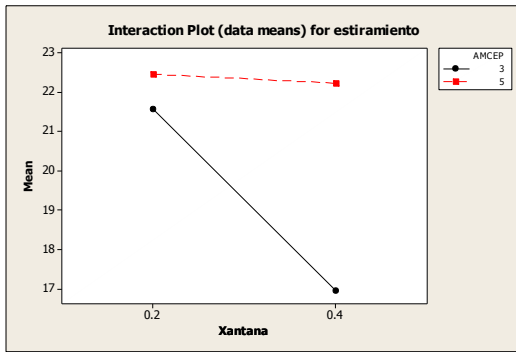
	Mean	SE Mean
AMCEP		
3	0.02613	0.001460
5	0.04458	0.001460
Xantana		
0.2000	0.02935	0.001460
0.4000	0.04135	0.001460
AMCEP*Xantana		
3 0.2000	0.02490	0.002065
5 0.2000	0.03380	0.002065
3 0.4000	0.02735	0.002065
5 0.4000	0.05535	0.002065

### Factorial Fit: estiramiento versus AMCEP, Xantana

Estimated Effects and Coefficients for estiramiento (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		20.792	0.4190	49.62	0.000
AMCEP	3.088	1.544	0.4190	3.69	0.021
Xantana	-2.416	-1.208	0.4190	-2.88	0.045
AMCEP*Xantana	2.188	1.094	0.4190	2.61	0.059

S = 1.18509 R-Sq = 87.77% R-Sq(adj) = 78.60%



Least Squares Means for estimamiento

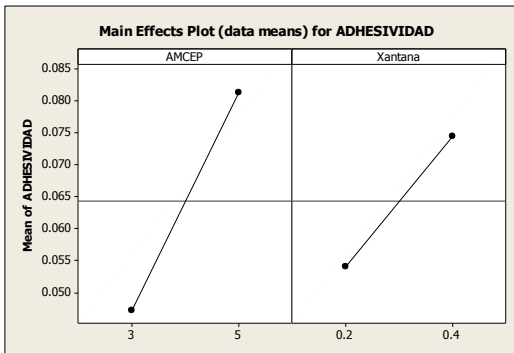
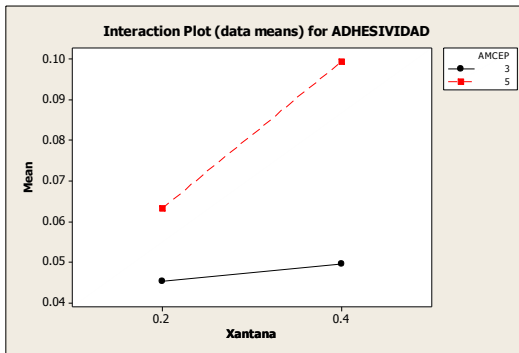
	Mean	SE Mean
AMCEP		
3	19.25	0.5925
5	22.34	0.5925
Xantana		
0.2000	22.00	0.5925
0.4000	19.58	0.5925
AMCEP*Xantana		
3 0.2000	21.55	0.8380
5 0.2000	22.45	0.8380
3 0.4000	16.95	0.8380
5 0.4000	22.22	0.8380

**Factorial Fit: ADHESIVIDAD versus AMCEP, Xantana**

Estimated Effects and Coefficients for ADHESIVIDAD (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0.064325	0.000536	120.10	0.000
AMCEP	0.034050	0.017025	0.000536	31.79	0.000
Xantana	0.020350	0.010175	0.000536	19.00	0.000
AMCEP*Xantana	0.015950	0.007975	0.000536	14.89	0.000

S = 0.00151493 R-Sq = 99.75% R-Sq(adj) = 99.56%



Least Squares Means for ADHESIVIDAD

	Mean	SE Mean
AMCEP		
3	0.04730	0.000757
5	0.08135	0.000757
Xantana		
0.2000	0.05415	0.000757
0.4000	0.07450	0.000757

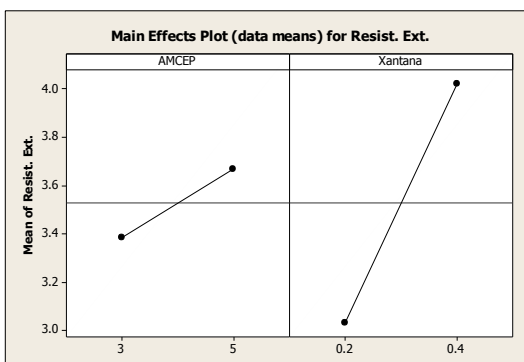
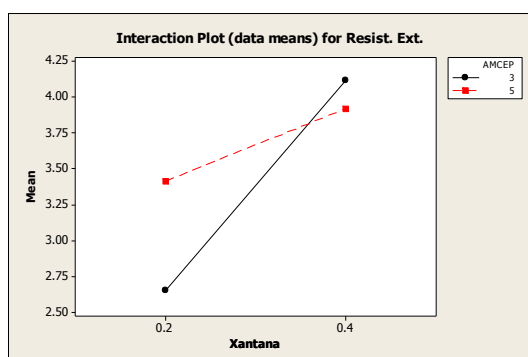
AMCEP*Xantana			
3	0.2000	0.04510	0.001071
5	0.2000	0.06320	0.001071
3	0.4000	0.04950	0.001071
5	0.4000	0.09950	0.001071

### Factorial Fit: Resist. Ext. versus AMCEP, Xantana

Estimated Effects and Coefficients for Resist. Ext. (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		3.5269	0.1808	19.51	0.000
AMCEP	0.2827	0.1414	0.1808	0.78	0.478
Xantana	0.9877	0.4939	0.1808	2.73	0.052
AMCEP*Xantana	-0.4792	-0.2396	0.1808	-1.33	0.256

S = 0.511397 R-Sq = 71.08% R-Sq(adj) = 49.38%



Least Squares Means for Resist. Ext.

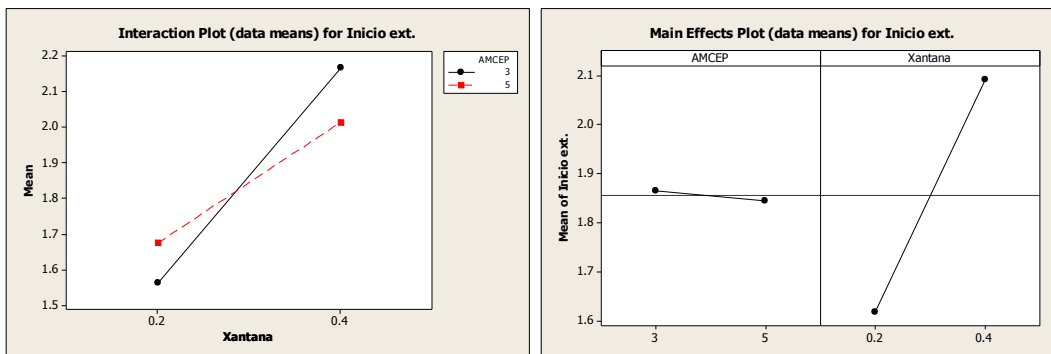
	Mean	SE Mean
AMCEP		
3	3.386	0.2557
5	3.668	0.2557
Xantana		
0.2000	3.033	0.2557
0.4000	4.021	0.2557
AMCEP*Xantana		
3 0.2000	2.652	0.3616
5 0.2000	3.414	0.3616
3 0.4000	4.119	0.3616
5 0.4000	3.923	0.3616

### Factorial Fit: Inicio ext. versus AMCEP, Xantana

Estimated Effects and Coefficients for Inicio ext. (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		1.85525	0.1153	16.09	0.000
AMCEP	-0.02050	-0.01025	0.1153	-0.09	0.933
Xantana	0.47300	0.23650	0.1153	2.05	0.110
AMCEP*Xantana	-0.13300	-0.06650	0.1153	-0.58	0.595

S = 0.326074 R-Sq = 53.21% R-Sq(adj) = 18.12%



Least Squares Means for Inicio ext.

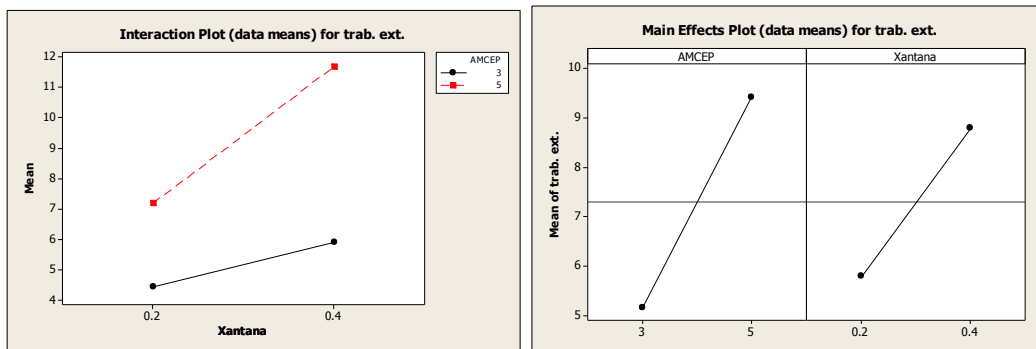
	Mean	SE Mean
AMCEP		
3	1.866	0.1630
5	1.845	0.1630
Xantana		
0.2000	1.619	0.1630
0.4000	2.092	0.1630
AMCEP*Xantana		
3 0.2000	1.563	0.2306
5 0.2000	1.675	0.2306
3 0.4000	2.169	0.2306
5 0.4000	2.015	0.2306

**Factorial Fit: trab. ext. versus AMCEP, Xantana**

Estimated Effects and Coefficients for trab. ext. (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		7.3009	0.04616	158.18	0.000
AMCEP	4.2583	2.1291	0.04616	46.13	0.000
Xantana	2.9927	1.4964	0.04616	32.42	0.000
AMCEP*Xantana	1.5073	0.7536	0.04616	16.33	0.000

S = 0.130549 R-Sq = 99.88% R-Sq(adj) = 99.80%



Least Squares Means for trab. ext.

	Mean	SE Mean
AMCEP		
3	5.172	0.06527
5	9.430	0.06527
Xantana		
0.2000	5.805	0.06527
0.4000	8.797	0.06527



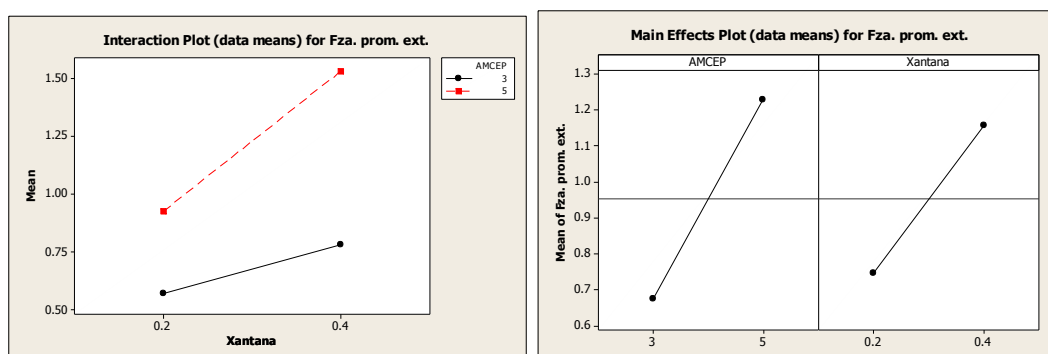
AMCEP*Xantana			
3	0.2000	4.429	0.09231
5	0.2000	7.180	0.09231
3	0.4000	5.915	0.09231
5	0.4000	11.680	0.09231

### Factorial Fit: Fza. prom. ext. versus AMCEP, Xantana

Estimated Effects and Coefficients for Fza. prom. ext. (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		0.95250	0.007776	122.49	0.000
AMCEP	0.55300	0.27650	0.007776	35.56	0.000
Xantana	0.40950	0.20475	0.007776	26.33	0.000
AMCEP*Xantana	0.19550	0.09775	0.007776	12.57	0.000

S = 0.0219943 R-Sq = 99.81% R-Sq(adj) = 99.67%



Least Squares Means for Fza. prom. ext.

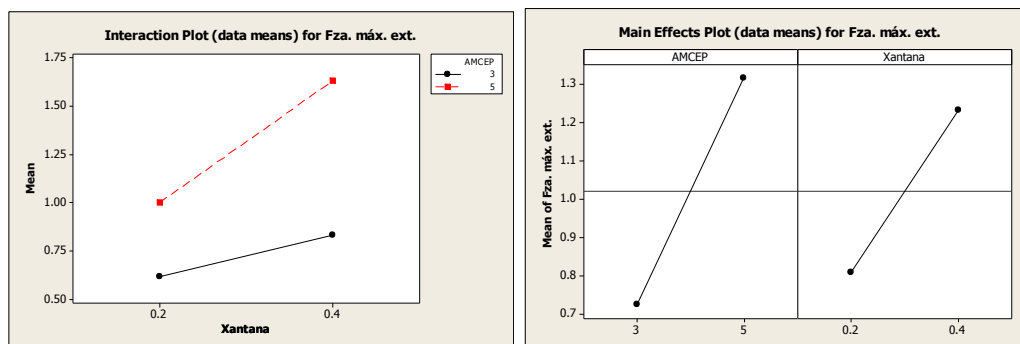
	Mean	SE Mean
AMCEP		
3	0.6760	0.01100
5	1.2290	0.01100
Xantana		
0.2000	0.7478	0.01100
0.4000	1.1573	0.01100
AMCEP*Xantana		
3 0.2000	0.5690	0.01555
5 0.2000	0.9265	0.01555
3 0.4000	0.7830	0.01555
5 0.4000	1.5315	0.01555

### Factorial Fit: Fza. máx. ext. versus AMCEP, Xantana

Estimated Effects and Coefficients for Fza. máx. ext. (coded units)

Term	Effect	Coef	SE Coef	T	P
Constant		1.0209	0.005504	185.47	0.000
AMCEP	0.5913	0.2956	0.005504	53.71	0.000
Xantana	0.4222	0.2111	0.005504	38.36	0.000
AMCEP*Xantana	0.2098	0.1049	0.005504	19.05	0.000

S = 0.0155684 R-Sq = 99.92% R-Sq(adj) = 99.85%



Least Squares Means for Fza. máx. ext.

	Mean	SE Mean
AMCEP		
3	0.7253	0.007784
5	1.3165	0.007784
Xantana		
0.2000	0.8098	0.007784
0.4000	1.2320	0.007784
AMCEP*Xantana		
3 0.2000	0.6190	0.011009
5 0.2000	1.0005	0.011009
3 0.4000	0.8315	0.011009
5 0.4000	1.6325	0.011009