

**TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

**ESTUDIO DEL EFECTO DEL PROCESO DE  
HOMOGENIZACIÓN EN LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS  
DE LOS NÉCTARES DE FRUTAS**

Presentado ante la ilustre Universidad  
Central de Venezuela por el Bachiller:  
Hernández P., José J.  
para optar al Título de Ingeniero Químico

Caracas, 2008

# **TRABAJO ESPECIAL DE GRADO**

## **ESTUDIO DEL EFECTO DEL PROCESO DE HOMOGENIZACIÓN EN LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DE LOS NÉCTARES DE FRUTAS**

TUTOR ACADÉMICO: Prof<sup>a</sup> Nólides Guzmán, Ph.D.

TUTOR INDUSTRIAL: Dr. Lidia Woyzechowsky

Presentado ante la ilustre Universidad Central  
de Venezuela por el Bachiller:

Hernández P. José J.

para optar al Título de Ingeniero Químico

Caracas, Mayo del 2008

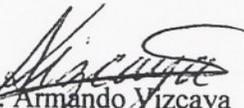
Caracas, Junio del 2008

Los abajo firmantes, miembros del Jurado designado por el Consejo de Escuela de Ingeniería Química, para evaluar el Trabajo Especial de Grado presentado por el Bachiller Hernández P. José Juan, titulado:

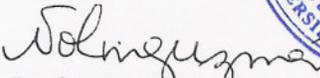
**“ESTUDIO DEL EFECTO DEL PROCESO DE  
HOMOGENIZACIÓN EN LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DE  
LOS NÉCTARES DE FRUTAS”**

Consideran que el mismo cumple con los requisitos exigidos por el plan de estudios conducente al Título de Ingeniero Químico, y sin que ello signifique que se hacen solidarios con las ideas expuestas por el autor, lo declaran **APROBADO**.

  
Prof. Mary Luz Alonso  
Jurado

  
Prof. Armando Vizcaya  
Jurado



  
Prof. Nólides Guzmán  
Tutor Académico

  
Msc. Lidia Woyzechosky  
Tutor Industrial



Universidad Central de Venezuela  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Química

## MENCIÓN HONORÍFICA

Nosotros los abajo firmantes, integrantes del Jurado Evaluador del Trabajo Especial de Grado titulado “**Estudio del Efecto del Proceso de Homogenización en las Propiedades Reológicas de los Néctares de Frutas**” realizado por el Bachiller **José Juan Hernández P.** bajo la tutoría de la M.Sc. Lidia Woyzechowsky y de la Profª. Nólides Guzmán, Ph.D., hemos decidido conferirle **Mención Honorífica**, porque es un trabajo que constituye un aporte importante para la Industria Alimenticia Venezolana, por la excelente presentación y por la calidad de su contenido.

Dada en Caracas a los doce días del mes de junio de 2008

Profesor Mary Luz Alonso  
Jurado



Profesor Armando Vizcaya  
Jurado

M.Sc. Lidia Woyzechowsky  
Tutora Industrial

Profª. Nólides Guzmán, Ph.D.  
Tutora Académica

## ***Dedicatoria***

*A mis padres... no solo por darme la vida sino tambien por el apoyo incondicional en todos los ambitos que me siguen dando hasta el dia de hoy... Por peritirme ser mi mismo sin imposiciones ni condiciones... Por ayudarme a crecer de la mano de sus propias experiencias con consejos oportunos y sabiduria infinita... Muchas gracias y los quiero mucho.*

*A mi hermano Luis Manuel... por soportarme por tantos años... y todos los que faltan... y mi otro hermano Alberto... como si mi mamá te hubiera tenido!!!*

*A Karlha... por estar a mi lado en los momentos mas dificiles y más bonitos de mi vida... y por decidir día a día a estar conmigo y con total libertad, a pesar de los cambios y dificultades que has tenido que vivir... se necesita mucho valor... Te amo...*

*A mi abuelo Luis José... que espero que pueda leer esto en algun momento... por su paciencia y sabiduría que ha servido de luz no solo para mi sino para todos los que te rodean.. y a mis otros abuelos que se que me observan desde allá arriba...*

*A mi tio Carlos Jesus y a su familia... Por siempre servirme de apoyo tanto a nivel académico como a nivel personal... Siempre estaré muy agrdecido...*

*A todos mis amigos por darme tantos recuerdos maravillosos que han ayudado a definir mi vida y que jamas olvidaré..*

## ***Agradecimientos***

*A la profesora Nólides... sin su ayuda no creo que hubiera terminado este trabajo nunca!!!! Muchas muchas gracias profesora...*

*A mis padres y a mis hermanos, Luis y Alberto, por su apoyo durante todo el proceso de realización del trabajo y de presentación...*

*A Karlha por siempre estar pendiente de cada uno de los pasos que se llevaron a cabo para la realización de este trabajo... Y a tus padres, Mariaelena y el señor Carlos por todo su apoyo... muchas gracias...*

*Por supuesto a Lidia... por adoptarme y apoyarme en este largo trabajo que a pesar del tiempo que fue necesario invertir siempre creyó en mi... muchas gracias Lidia...*

*A todos mis compañeros de trabajo, Amarillys, Beatriz, Ceneiris, Yanexi, Omar, Javier, Luis, Mariana y Hector... que mas que compañeros de trabajo son como mi familia... por permitirme entrar a sus vidas... de verdad la he pasado muy bien y he aprendido muchísimo... Todos son grandiosos!!*

*Y a todo el resto de las maravillosas personas que laboran en el centro tecnologico y en planta concentrados y que he tenido la dicha y el placer de conocer, me alegro mucho de formar parte de esta gran familia...*

**Hernández P., José J.**

## **ESTUDIO DEL EFECTO DEL PROCESO DE HOMOGENIZACIÓN EN LAS PROPIEDADES REOLÓGICAS DE LOS NÉCTARES DE FRUTAS**

**Tutor académico: Ph.D. Nólides Guzmán. Tesis. Caracas, U.C.V., Facultad de Ingeniería.  
Escuela de Ingeniería Química. Año 2008, 90 pp.**

**Palabras clave:** Reología, Homogenizador, Estabilizantes, Viscosidad.

**Resumen.** Con la finalidad de buscar la mejora continua de la calidad organoléptica de los néctares de fruta, se está estudiando la aplicación de la homogenización de alta presión, con lo que se espera conseguir una mejora sustancial en la estabilidad del producto así como la posibilidad de disminuir la cantidad de aditivos utilizados para este fin, lo que se traduce en una disminución de los costos. Sin embargo, el proceso de homogenización puede afectar la sicorreología del producto, por lo que este trabajo consistió en el estudio del efecto de la homogenización en las propiedades reológicas tanto de los néctares de fruta en su fórmula completa como de los modelos agua-goma.

Las muestras se trabajaron a 100 y 200 bar de presión de homogenización. Se determinó, para los modelos agua-goma y para el néctar de fruta 1, una disminución de la viscosidad al aumentar la presión de homogenización y un aumento de la viscosidad al aumentar la concentración de estabilizante. Para el néctar de fruta 2 se determinó que la viscosidad aumenta al incrementar la presión de homogenización y para el néctar de fruta 3 no existe un efecto claro de la homogenización sobre la reología del mismo. Para corroborar estos resultados estadísticamente, se realizó un análisis de varianza.

Se determinó que la mayoría de las muestras responden a la Ley de Potencia con excepción del modelo agua-goma xantan que tuvo un comportamiento correspondiente a los fluidos viscoplásticos. El índice de consistencia  $k$  aumentó al incrementar la concentración de estabilizante y disminuyó al aumentar la presión de homogenización para la mayoría de las muestras analizadas, excepto para el néctar de fruta 2 donde se observó un aumento de dicho parámetro al aumentar la presión de homogenización. A partir del valor de  $n$  se determinó que el comportamiento reológico de todas las muestras varió entre un comportamiento pseudoplástico ( $0 < n < 1$ ) para las concentraciones más bajas y un comportamiento dilatante ( $n > 1$ ) preponderante a las concentraciones más altas de estabilizante.

Para verificar el efecto de la temperatura sobre  $k$  y  $n$  se utilizó la ecuación de Arrhenius, que describió de manera confiable el efecto de la temperatura sobre los parámetros reológicos para todas las muestras estudiadas.

Finalmente, se determinó que la estabilidad de los productos mejora considerablemente al homogenizar; sin embargo, se observó el fenómeno de sinéresis en algunas muestras de los néctares de fruta 1 y 2 para los productos homogenizados que imposibilitaron la medición de la estabilidad de los mismos y que podrían tener un efecto en sicorreología del producto.

## ÍNDICE GENERAL

<b>CONTENIDO</b>	<b>Pág</b>
Índice de Tablas .....	IV
Índice de Figuras .....	VII
Lista de Símbolos .....	XV
<b>CAPÍTULO I: FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>1</b>
I.1 Planteamiento del Problema .....	1
I.2 Antecedentes de la Investigación.....	3
I.3 Objetivos .....	5
<b>CAPÍTULO II: REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>6</b>
<b>II.1 NÉCTAR DE FRUTA .....</b>	<b>6</b>
II.1.1 Definición de néctar de fruta .....	6
II.1.2 Materia Prima .....	6
II.1.2.1 Pulpa de fruta.....	6
II.1.2.2 Azúcar.....	7
II.1.2.3 Agua .....	7
II.1.2.4 Ácidos orgánicos .....	7
II.1.2.5 Aceites esenciales y aromatizantes.....	8
II.1.2.6 Estabilizantes.....	8
II.1.3 Proceso de producción de los néctares de fruta.....	8
II.1.3.1 Adición y mezclado de los ingredientes.....	9
II.1.3.2 Pasteurización.....	9
II.1.3.3 Envasado y empacado .....	9
<b>II.2 ASPECTOS GENERALES DE LA REOLOGÍA.....</b>	<b>9</b>
II.2.1 Definición de reología .....	9
II.2.2 Determinación de las propiedades reológicas .....	10
II.2.2.1 Esfuerzo de corte o cizalla.....	10

II.2.2.2 Velocidad de corte o cizalla .....	10
II.2.2.3 Viscosidad .....	11
II.2.2.4 Instrumentos de medición de las propiedades reológicas.....	11
II.2.2.4.1 Reómetro .....	12
II.2.2.4.2 Viscosímetro.....	12
II.2.3 Aspectos generales de los fluidos.....	13
II.2.3.1 Tipos de fluidos .....	13
II.2.3.1.1 Fluidos Newtonianos .....	13
II.2.3.1.2 Fluidos no-Newtonianos.....	15
II.2.4 Modelos Reológicos .....	17
<b>II.3 ASPECTOS GENERALES DE LA HOMOGENIZACIÓN .....</b>	<b>18</b>
II.3.1 Definición.....	18
II.3.2 Homogenizador .....	18
II.3.3 Técnicas de homogenización.....	20
II.3.4 Teorías de homogenización.....	21
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA EXPERIMENTAL .....</b>	<b>23</b>
III.1 Medición de los cambios de viscosidad por efectos de homogenización en distintas concentraciones de estabilizante.....	23
III.1.1 Medición de los cambios de viscosidad por efectos de homogenización en un modelo alimentario goma-agua a distintas concentraciones de estabilizantes.....	23
II.1.1.1 Preparación de las muestras .....	24
II.1.1.2 Homogenización de las muestras .....	24
II.1.1.3 Pasteurización de las muestras .....	25
II.1.1.4 Medición de la viscosidad .....	25
III.1.1.4.1 Medición con la copa Ford.....	26
III.1.1.4.2 Medición con el viscosímetro de Brookfield .....	27
III.1.2 Medición de los cambios de viscosidad por efectos de homogenización en los néctares de fruta .....	28

---

III.1.2.1 Medición de las viscosidad de los néctares, su fórmula completa y sin pasar por la etapa de homogenización .....	28
III.1.2.2 Medición del efecto de la homogenización sobre las viscosidad de los néctares a diferentes concentraciones de estabilizantes, en su fórmula completa.....	29
III.1.3 Análisis estadístico.....	29
III.2 Estudio reológico .....	30
III.3 Estudio de la estabilidad.....	31
<b>CAPÍTULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>32</b>
IV.1 Medición de los cambios de viscosidad por efectos de homogenización en distintas concentraciones de los estabilizantes comúnmente empleados en los néctares de fruta .....	32
IV.1.1 Medición de los cambios de viscosidad por efectos de homogenización en modelos alimentarios agua-goma a distintas concentraciones de estabilizantes.....	33
IV.1.2 Medición de los cambios de viscosidad por efectos de homogenización en los néctares de fruta en su fórmula completa a distintas concentraciones de estabilizantes .....	40
IV.2 Estudio reológico .....	46
IV.2.1 Estudio reológicos de los modelos agua-goma.....	46
IV.2.2 Estudio reológicos de los néctares de fruta.....	61
IV.3 Estudio de la estabilidad .....	71
<b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES .....</b>	<b>79</b>
<b>CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES.....</b>	<b>82</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>83</b>
<b>GLOSARIO .....</b>	<b>87</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA</b>	<b>Pág.</b>
Tabla II.1: Características de los tipos de fluido.....	18
Tabla III.1: Resumen de la metodología usada para los modelos agua-estabilizante.....	29
Tabla III.2: Resumen de la metodología usada para los modelos agua-estabilizante .....	29
Tabla IV.1: Base de datos de las viscosidades de los néctares de fruta medidos con la copa Ford #4 .....	40
Tabla IV.2: Tabla comparativa del efecto de la presión de homogenización sobre $k$ y $n$ para el modelo agua-C.M.C. a 20 °C .....	54
Tabla IV.3: Comportamiento reológico del modelo agua-C.M.C. para los diferentes rangos de concentración de estabilizante (% m/v) .....	54
Tabla IV.4: Comportamiento reológico del modelo agua-pectina para los diferentes rangos de concentración de estabilizante (% m/v) .....	55
Tabla IV.5: Comportamiento reológico del modelo agua-goma guar para los diferentes rangos de concentración de estabilizante (% m/v).....	55
Tabla IV.6: Comportamiento reológico del modelo agua-goma xantan para los diferentes rangos de concentración de estabilizante (% m/v).....	55
Tabla IV.7: Tabla comparativa del efecto de la presión de homogenización sobre $\tau_0$ para el modelo agua-goma xantan a 20 °C.....	56

<b>TABLA</b>	<b>Pág.</b>
Tabla IV.8: Tabla comparativa del efecto de la temperatura sobre $k$ y $n$ para el modelo agua-goma guar del producto no homogenizado .....	57
Tabla IV.9: Tabla comparativa del efecto de la temperatura sobre $k$ , $n$ y $\tau_0$ para el modelo agua-goma xantan sin homogenizar .....	57
Tabla IV.10: Constantes de la ecuación de Arrhenius para el índice de consistencia del modelo agua-C.M.C.....	59
Tabla IV.11: Constantes de la ecuación de Arrhenius para el índice de comportamiento al flujo del modelo agua-C.M.C .....	60
Tabla IV.12: Constantes de la ecuación de Arrhenius para el esfuerzo de cedencia del modelo agua-goma xantan.....	60
Tabla IV.13: Tabla comparativa del efecto de la presión de homogenización sobre $k$ y $n$ para el néctar de fruta 1 a 20 °C.....	67
Tabla IV.14: Tabla comparativa del efecto de la presión de homogenización sobre $k$ y $n$ para el néctar de fruta 2 a 20 °C.....	68
Tabla IV.15: Tabla comparativa del efecto de la presión de homogenización sobre de $k$ y $n$ para el néctar de fruta 3 a 20 °C .....	69
Tabla IV.16: Tabla comparativa del efecto de la temperatura sobre $k$ y $n$ para el néctar de fruta 1 a 200bar de presión de homogenización .....	69
Tabla IV.17: Tabla comparativa del efecto de la temperatura sobre $k$ y $n$ para el néctar de fruta 2 a 100bar de presión de homogenización .....	70

<b>TABLA</b>	<b>Pág.</b>
Tabla IV.18: Constantes de la ecuación de Arrhenius para el índice de consistencia del néctar de fruta 1.....	71
Tabla IV.19: Constantes de la ecuación de Arrhenius para el índice de comportamiento al flujo del néctar de fruta 1.....	71

**ÍNDICE DE FIGURAS**

<b>FIGURA</b>	<b>Pág.</b>
Figura II.1: Geometrías comunes de los reómetros .....	12
Figura II.2: (a) Copa de viscosidad acoplada a un soporte universal y (b) Viscosímetro rotatorio de Brookfield.....	13
Figura II.3: Curvas de fluidez y de viscosidad para un fluido Newtoniano.....	14
Figura II.4: Curvas de fluidez y de viscosidad para un fluido pseudoplástico. ....	15
Figura II.5: Curvas de fluidez y de viscosidad para un fluido dilatante.....	16
Figura II.6: Curvas de fluidez y de viscosidad para un fluido plástico.....	16
Figura II.7: Partes que componen un homogenizador de alta presión.....	19
Figura II.8: Diagrama del proceso de homogenización .....	20
Figura II.9: Homogenizadores de una y dos etapas.....	20
Figura II.10: Condiciones del producto .....	21

<b>FIGURA</b>	<b>Pág.</b>
Figura III.1: Montaje del agitador para la preparación de las muestras.....	24
Figura III.2: Copa Ford # 4 utilizada para la medición de la viscosidad de las muestras.....	26
Figura III.3: Densitómetro AntonParr utilizado para la medición de la densidad de las muestras.....	27
Figura III.4: Montaje para las mediciones de las viscosidades usando un viscosímetro de Brookfield... ..	28
Figura III.5: Señalización del nivel de líquido total y el nivel de los sedimentos para el análisis de la estabilidad de las muestras.....	31
Figura IV.1: Comparación del efecto de la homogenización sobre la viscosidad del modelo alimentario agua-goma guar, usando la copa Ford #4.....	33
Figura IV.2: Comparación del efecto de la homogenización sobre la viscosidad del modelo alimentario agua-goma xantan, usando la copa Ford #4.....	35
Figura IV.3: Comparación del efecto de la homogenización sobre la viscosidad del modelo alimentario agua-goma C.M.C, usando la copa Ford #4.....	35

<b>FIGURA</b>	<b>Pág.</b>
Figura IV.4: Comparación del efecto de la homogenización sobre la viscosidad del modelo alimentario agua-goma pectina, usando la copa Ford #4.....	36
Figura IV.5: Comparación del efecto de la homogenización sobre la viscosidad del modelo alimentario agua-goma xantan, usando el viscosímetro de Brookfield .....	37
Figura IV.6: Comparación del efecto de la homogenización sobre la viscosidad del modelo alimentario agua-goma C.M.C., usando el viscosímetro de Brookfield .....	38
Figura IV.7: Comparación del efecto de la homogenización sobre la viscosidad del modelo alimentario agua-goma guar, usando el viscosímetro de Brookfield .....	39
Figura IV.8: Comparación del efecto de la homogenización sobre la viscosidad del modelo alimentario agua-goma pectina, usando el viscosímetro de Brookfield .....	39
Figura IV.9: Comparación del efecto de la homogenización sobre la viscosidad del néctar de fruta 1, usando la copa Ford #4.....	41
Figura IV.10: Comparación del efecto de la homogenización sobre la viscosidad del néctar de fruta 2, usando la copa Ford #4.....	42
Figura IV.11: Comparación del efecto de la homogenización sobre la viscosidad del néctar de fruta 3, usando la copa Ford #4.....	43

<b>FIGURA</b>	<b>Pág.</b>
Figura IV.12: Comparación del efecto de la homogenización sobre la viscosidad del néctar de fruta 1, usando el viscosímetro de Brookfield .....	44
Figura IV.13: Comparación del efecto de la homogenización sobre la viscosidad del néctar de fruta 2, usando el viscosímetro de Brookfield .....	45
Figura IV.14: Comparación del efecto de la homogenización sobre la viscosidad del néctar de fruta 3, usando el viscosímetro de Brookfield....	46
Figura IV.15: Ajustes de los datos experimentales del modelo agua-C.M.C. a la Ley de potencia a 20°C para la determinación de los parámetros reológicos .....	47
Figura IV.16: Ajustes de los datos experimentales del modelo agua-pectina a la Ley de potencia a 20°C para la determinación de los parámetros reológicos .....	48
Figura IV.17: Ajustes de los datos experimentales del modelo agua-goma guar a la Ley de potencia a 20°C para la determinación de los parámetros reológicos .....	48
Figura IV.18: Ajustes de los datos experimentales del modelo agua-goma xantan a la Ley de potencia a 20°C para la determinación de los parámetros reológicos .....	49

<b>FIGURA</b>	<b>Pág.</b>
Figura IV.19: Ajustes de los datos experimentales del modelo agua-C.M.C. a la Ley de potencia a 65°C para la determinación de los parámetros reológicos .....	49
Figura IV.20: Ajustes de los datos experimentales del modelo agua-pectina a la Ley de potencia a 65°C para la determinación de los parámetros reológicos .....	50
Figura IV.21: Ajustes de los datos experimentales del modelo agua-goma guar a la Ley de potencia a 65°C para la determinación de los parámetros reológicos .....	50
Figura IV.22: Ajustes de los datos experimentales del modelo agua-goma xantan a la Ley de potencia a 65°C para la determinación de los parámetros reológicos .....	51
Figura IV.23: Ajustes de los datos experimentales del modelo agua-C.M.C. a la Ley de potencia a 90°C para la determinación de los parámetros reológicos .....	51
Figura IV.24: Ajustes de los datos experimentales del modelo agua-pectina a la Ley de potencia a 90°C para la determinación de los parámetros reológicos .....	52
Figura IV.25: Ajustes de los datos experimentales del modelo agua-goma guar a la Ley de potencia a 90°C para la determinación de los parámetros reológicos .....	52

<b>FIGURA</b>	<b>Pág.</b>
Figura IV.26: Ajustes de los datos experimentales del modelo agua-goma xantan la Ley de potencia a 90°C para la determinación de los parámetros reológicos .....	53
Figura IV.27: Ajustes de los datos experimentales del néctar de fruta 1 a la Ley de potencia a 20°C para la determinación de los parámetros reológicos.....	61
Figura IV.28: Ajustes de los datos experimentales del néctar de fruta 2 a la Ley de potencia a 20°C para la determinación de los parámetros reológicos.....	62
Figura IV.29: Ajustes de los datos experimentales del néctar de fruta 3 a la Ley de potencia a 20°C para la determinación de los parámetros reológicos.....	62
Figura IV.30: Ajustes de los datos experimentales del néctar de fruta 1 a la Ley de potencia a 65°C para la determinación de los parámetros reológicos.....	63
Figura IV.31: Ajustes de los datos experimentales del néctar de fruta 2 a la Ley de potencia a 65°C para la determinación de los parámetros reológicos.....	63
Figura IV.32: Ajustes de los datos experimentales del néctar de fruta 3 a la Ley de potencia a 65°C para la determinación de los parámetros reológicos.....	64

<b>FIGURA</b>	<b>Pág.</b>
Figura IV.33: Ajustes de los datos experimentales del néctar de fruta 1 a la Ley de potencia a 90°C para la determinación de los parámetros reológicos.....	64
Figura IV.34: Ajustes de los datos experimentales del néctar de fruta 2 a la Ley de potencia a 90°C para la determinación de los parámetros reológicos.....	65
Figura IV.35: Ajustes de los datos experimentales del néctar de fruta 3 a la Ley de potencia a 90°C para la determinación de los parámetros reológicos.....	65
Figura IV.36: Estudio del proceso de sedimentación del néctar de fruta 3 a distintas concentraciones de estabilizante para el producto no homogenizado .....	72
Figura IV.37: Resultados del estudio de la sedimentación del néctar de fruta 3 para el 50% del estabilizante usado en la fórmula original a distintas presiones de homogenización .....	73
Figura IV.38: Resultados del estudio de la sedimentación del néctar de fruta 3 para el 150% del estabilizante usado en la fórmula original a distintas presiones de homogenización .....	74
Figura IV.39: Resultados del estudio de la sedimentación del néctar de fruta 3 para el 300% del estabilizante usado en la fórmula original a distintas presiones de homogenización. ....	74

<b>FIGURA</b>	<b>Pág.</b>
Figura IV.40: Estudio del proceso de sedimentación del néctar de fruta 1 a distintas concentraciones de estabilizante para el producto no homogenizado .....	75
Figura IV.41: Resultados del estudio de la sedimentación del néctar de fruta 1 para el 50% del estabilizante usado en la fórmula original a distintas presiones de homogenización. ....	76
Figura IV.42: Resultados del estudio de la sedimentación del néctar de fruta 1 para el 250% del estabilizante usado en la fórmula original a distintas presiones de homogenización. ....	76
Figura IV.43: Resultados del estudio de la sedimentación del néctar de fruta 1 para el 300% del estabilizante usado en la fórmula original a distintas presiones de homogenización. ....	77
Figura IV.44: Fenómenos de sinéresis en las muestras de néctar de fruta 1.....	78
Figura IV.45: Estudio del proceso de sedimentación del néctar de fruta 2 a distintas concentraciones de estabilizante para el producto no homogenizado .....	78

---

## LISTA DE SÍMBOLOS

### Símbolos Latinos

***A***: Área ( $m^2$ )

***A<sub>θ</sub>***: Factor preexponencial de la ecuación de Arrhenius general

***A<sub>k</sub>***: Factor preexponencial de la ecuación de Arrhenius en función del índice de consistencia ( $Pa.s^n$ )

***A<sub>n</sub>***: Factor preexponencial de la ecuación de Arrhenius en función del índice de comportamiento al flujo (adim)

***C***: Concentración ( $^{\circ}Bx$ )

***D***: Constante de proporcionalidad ( $Pa.s.^{\circ}Bx^a.s^{-1}$ ) (Ec. 2)

***d***: Constante de proporcionalidad (adim) (Ec. 2)

***Ea***: Energía de activación ( $kJ.mol^{-1}$ )

***F***: Fuerza (N)

***h***: Altura (m)

***k***: Índice de consistencia ( $Pa.s^n$ )

***k<sub>c</sub>***: Índice de consistencia de la ecuación de Casson ( $Pa.s^n$ ) (Ec. 9)

***k(T)***: Constante cinética (dependiente de la temperatura) (Ec. 3)

***N***: Lectura de la velocidad de corte arrojada por el viscosímetro de Brookfield R.V.T.  
(rpm)

***n***: Índice de comportamiento al flujo (adim.)

***R***: Constante Universal de los gases ( $8,314 J.mol^{-1}.K^{-1}$ )

***T***: Temperatura absoluta (K)

***t***: Tiempo (s)

***t<sub>des</sub>***: Tiempo de descarga del producto de la copa Ford. (s)

***u***: Velocidad (m/s)

**Símbolos Griegos**

$\alpha_i$ : Lectura del torque arrojada por el viscosímetro de Brookfield (%)

$\dot{\gamma}$ : Velocidad de deformación ( $s^{-1}$ )

$\varepsilon_{\alpha\tau}$ : Factor de conversión para las agujas del viscosímetro Brookfield R.V.T. (adim)

$\varepsilon_{N\tau}$ : Factor de conversión de las unidades de la velocidad de corte para las agujas del viscosímetro Brookfield R.V.T.

$\eta_{ap}$ : Viscosidad aparente (mPa.s)

$\mu$ : Viscosidad absoluta (mPa.s)

$\mu_{\infty}$ : Viscosidad límite a Velocidad de deformación infinita (mPa.s)

$\mu_0$ : Viscosidad límite a Velocidad de deformación cero (mPa.s)  $\rho$ : Densidad ( $kg/m^3$ )

$\tau$ : Esfuerzo cortante o de deformación (mPa)

$\tau_0$ : Esfuerzo de umbral (mPa)

$\nu$ : Viscosidad cinemática ( $m^2/s$ )

**Abreviaturas**

C.M.C.- Carboximetilcelulosa.

# CAPÍTULO I

## FUNDAMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN

### I.1.- PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Cuando un consumidor compra un producto alimentario, uno de los primeros elementos que interviene en dicha selección es la apariencia del producto. Un aspecto desagradable puede bastar para que el producto sea inmediatamente eliminado de la selección. La apariencia es, por tanto, un elemento objetivo de elección o de rechazo (Roudot, 2004). Para el caso específico de los néctares de fruta, la calidad del producto final, en lo que concierne al consumidor, depende de varios factores: su sabor, su textura, su color y su apariencia, entre otros. Para poder garantizar que todos estos factores cumplan con las exigencias del mercado, se realizan estudios que permitan definir una formulación para la estandarización del proceso de producción, y así asegurar que el producto siempre tenga las mismas características.

Por otro lado, el estudio de las características reológicas de los alimentos es uno de los criterios esenciales en el desarrollo de productos en el ámbito industrial, y frecuentemente determinan las propiedades funcionales de algunas sustancias e intervienen durante el control de calidad, ya que las propiedades reológicas están muy relacionadas con la sicorreología del producto (Roudot, 2004).

El procesamiento de los néctares incluye diferentes tratamientos en su procesamiento, dentro de los cuales el proceso de homogenización es el principal responsable de definir las características reológicas de los mismos. Igualmente son agregados diferentes aditivos alimenticios que mejoran la estabilidad de dichas características en el tiempo

Comúnmente en los procesos industriales, debido a variaciones en las tecnologías y a la continua optimización de los procesos de elaboración, es necesario validar el efecto que pudiesen tener dichas modificaciones sobre las características del producto de manera de garantizar su calidad y su aceptabilidad por parte del consumidor.

Por consiguiente, este trabajo está enfocado en el estudio del efecto de la homogenización en las propiedades reológicas de los néctares de fruta, de manera de conocer la viabilidad de la homogenización de alta presión de los néctares. Además, los datos obtenidos permiten determinar los modelos reológicos de los diferentes productos, a través de los cuales es factible predecir el comportamiento de los néctares en caso de una reformulación en las recetas actuales de los mismos, optimizando los recursos disponibles y sus resultados.

## I.2.- ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

• Muñoz, Rubio y Cabeza (2000) efectuaron análisis reológicos en distintas muestras de pulpas de pera de Argentina, para las concentraciones: 12,5; 16; 20; 24 y 28 °Bx y temperaturas de 30, 40 y 50°C, con viscosímetros Brookfield Modelo LVDV-III y Modelo HBDV-III. Además, realizaron mediciones a otras temperaturas para hallar los valores de energía de activación y estudiar el efecto de la concentración de sólidos solubles sobre la viscosidad. Determinaron que el comportamiento reológico de las pulpas responde a la Ley de Potencia:

$$\tau = k \cdot \dot{\gamma}^n \quad \text{Ec. 1}$$

Evaluaron el efecto combinado que la temperatura y el contenido de sólidos ejercen sobre la viscosidad usando la ecuación descrita por Fito y otros (1983):

$$\eta_{ap} = f(T, \gamma) = D \cdot e^{(Ea/RT)} \cdot C^{d_{(t)}} \cdot \gamma^{(n_{(c)}-1)} \quad \text{Ec. 2}$$

Para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre los valores medidos y los calculados, se realizó un análisis de varianza ( $p = 0,05$ ) entre las columnas de viscosidad aparente medida y la calculada. Finalmente, concluyeron que los concentrados de pera se comportan como un fluido pseudoplástico.

• Sengul y Ertugay (2003) estudiaron el comportamiento reológico del concentrado de mora. La viscosidad del mismo fue medida a temperaturas de 30, 40, 50, 60 y 70 °C usando un viscosímetro rotacional equipado con una aguja número 5 a velocidades de: 5, 10, 20, 50 y 100 rpm. Para describir el comportamiento reológico del concentrado de mora se utilizó el modelo de la Ley de Potencia (Ec. 1) con coeficientes de correlación entre 0,991 y 0,999. El concentrado de mora se comportó como un fluido pseudoplástico. Para describir el efecto de la temperatura sobre la viscosidad se usó la ecuación de Arrhenius (Ec. 3); el valor de la energía de activación  $Ea$  del concentrado de mora fue calculada en  $17,97 \text{ kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$ .

$$k(T) = A_0 \cdot e^{(-Ea/R.T)} \quad \text{Ec. 3}$$

- Dak, Verma y Jaaffrey (2006) realizaron una investigación de las características del flujo del jugo de 2 y evaluaron los parámetros reológicos utilizando un viscosímetro rotacional a temperaturas de 20, 30, 40, 50, 60 y 70 °C a las concentraciones 11,69, 16,37 y 26% de sólidos totales. A partir de los resultados experimentales determinaron que el mejor ajuste se obtuvo haciendo uso de la Ley de Potencia, con valores para el índice de comportamiento de flujo menores que la unidad (0,20 – 0,33) para todas las temperaturas y concentraciones, revelando el comportamiento pseudoplástico del jugo. Una correlación entre el coeficiente de consistencia, en el rango de 0,32-80,09 Pa.s<sup>n</sup> y el inverso de la temperatura absoluta fueron obtenidas a partir de la ecuación de Arrhenius. La Ley de Potencia indicó que el índice de consistencia decrece de manera no lineal con respecto a la concentración. La magnitud de la energía de activación fue encontrada en el rango de 3,8-13,7 kJ/mol.K.

- Belibagli y Dalgic (2007) determinaron las propiedades reológicas del concentrado de jugo de cereza a partir del uso de un reómetro con control de esfuerzo de corte. El comportamiento reológico del jugo de cereza con diferentes contenidos de sólidos (40, 45, 50, 55, 60, 65, 68,5 y 70 °Bx) fue estudiado a 5, 10, 20, 30, 40 y 50 °C. Se encontró que el comportamiento del fluido fue Newtoniano. El efecto de la temperatura en la viscosidad fue descrito con la ecuación de Arrhenius. Las energías de activación que se obtuvieron se encuentran entre los 22,44 y 73,49 kJ/mol con respecto al incremento de la concentración. Para el estudio del efecto de la concentración sobre la viscosidad se utilizaron la ecuación exponencial y la Ley de Potencia. Finalmente, se obtuvieron dos ecuaciones que combinadas describen el efecto de la temperatura y de los sólidos solubles sobre la viscosidad de los concentrados de jugos de cereza.

### I.3.- OBJETIVOS

#### *General*

Evaluar el efecto del proceso de homogenización de alta presión en las propiedades reológicas de néctares de frutas.

#### *Específicos*

- Determinar los cambios de viscosidad por efectos de homogenización en distintas concentraciones de los estabilizantes comúnmente empleados en los néctares de fruta, a través del uso de un modelo alimentario agua-goma.
- Determinar los parámetros reológicos (esfuerzo de corte, coeficiente de consistencia, índice de comportamiento de flujo) para distintas concentraciones de estabilizantes empleados comúnmente en los néctares de fruta, tanto para el modelo alimentario agua-goma como para los néctares en su fórmula completa.
- Determinar el modelo reológico que describa el comportamiento de los diferentes productos a diferentes concentraciones de estabilizantes.
- Determinar el efecto de la homogenización sobre la estabilidad de los néctares en su fórmula completa a diferentes concentraciones de estabilizante.

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

En este capítulo se presenta la información teórica requerida para desarrollar este Trabajo Especial de Grado, se especifican las generalidades del néctar de fruta, así como los aspectos generales de la reología y la homogenización.

#### **II.1.- NÉCTAR DE FRUTA**

##### **II.1.1.- Definición del néctar de fruta.**

Según la norma Covenin Venezolana para jugos y néctares (Norma Covenin 1030, 1995), el néctar de fruta es el producto fermentable, pero no fermentado, obtenido por la adición de agua y azúcares a los jugos de frutas y/o vegetales, sus concentrados, pulpas concentradas o sus mezclas.

El néctar no es un producto estable por si mismo, es decir, necesita ser sometido a un tratamiento térmico adecuado para asegurar su conservación. Es un producto formulado, que se prepara de acuerdo a una receta o fórmula preestablecida y que puede variar de acuerdo a las preferencias de los consumidores (Trinidad y Rosales, 2001).

##### **II.1.2.- Materia prima.**

A continuación se presenta la materia prima utilizada para la producción de néctar de fruta.

###### **II.1.2.1.- Pulpa de fruta.**

El néctar se obtiene a partir de frutas maduras, sanas y frescas, las cuales pasan a través de una etapa de pulpeado, en donde la fruta es triturada, después de pelada, hasta obtenerse una pasta de dicha fruta (Norma Covenin 1030, 1995). Por lo general, la fruta es comprada después de haber sido procesada y empacada como pulpa, sobretodo en los casos de frutas cuyas zafas son de muy corta duración o no son producidas localmente (Trinidad y Rosales, 2001).

### **II.1.2.2.- Azúcar.**

Los néctares en general contienen dos tipos de azúcar: el azúcar natural que aporta la fruta y el azúcar que se incorpora adicionalmente. El azúcar le confiere al néctar el dulzor característico. La norma Covenin de Néctares (1995) permite como edulcorantes, además de la sacarosa (azúcar), la fructosa y la glucosa. Estas últimas son formas de azúcar que se encuentran en las frutas y en la miel, y se pueden definir como monosacáridos (azúcares simples), los cuales tienen la misma fórmula empírica, pero con diferente estructura. El uso del tipo de azúcar dependerá de su costo, disponibilidad en la zona y de las exigencias del mercado. La concentración o contenido de azúcar en un néctar se mide a través de un refractómetro, que mide el porcentaje de sólidos solubles expresados en grados °Brix o mediante un densitómetro, expresados en grados baumé o °Brix (Trinidad y Rosales, 2001).

### **II.1.2.3.- Agua.**

El agua empleada en la elaboración de néctares deberá ser potable, libre de impurezas y baja en sales. Para este fin se puede recurrir al uso de equipos que aseguren una óptima calidad del agua, como son los filtros y los purificadores. La cantidad de agua que se debe incorporar al néctar se calcula según el peso de la pulpa o jugo y de las características de la fruta (Norma Covenin 1030, 1995).

### **II.1.2.4.- Ácidos Orgánicos.**

Para la elaboración de los néctares se permite el uso de ácidos orgánicos, que se encuentran principalmente en frutas y verduras, y se emplean, para regular la acidez del néctar de manera de hacerlo menos susceptible al ataque de microorganismos (Trinidad y Rosales, 2001), como son los casos del ácido cítrico, el ácido málico y el ácido tartárico. Por otro lado, los ácidos orgánicos también tienen la función de aportar valor nutritivo al producto, como es el caso del ácido ascórbico, que es el nombre científico de la vitamina C. Para saber si el jugo o la pulpa diluida poseen la acidez apropiada, se debe medir su grado de acidez titulable mediante la norma covenin 1151 (1977).

### **II.1.2.5.- Aceites esenciales y aromatizantes.**

Los volátiles que se recogen durante la concentración de los zumos se llaman esencias y se dividen en dos grupos: solubles en agua y solubles en aceite. La parte soluble en agua se conoce como “aroma” y la soluble en aceite como “aceite esencial”. Las dos tienen compuestos aromáticos con olor a flores o a fruta. Su función es la de compensar las pérdidas de los volátiles por el tratamiento térmico del producto final (Trinidad y Rosales, 2001).

### **II.1.2.6.- Estabilizantes.**

Los estabilizantes son sustancias que posibilitan el mantenimiento de una dispersión uniforme de dos o más sustancias no miscibles en el néctar, por lo que su principal función es la de mantener la suspensión del néctar y regular su densidad a través de agentes de retención de humedad (Norma Covenin 1030, 1995). A la hora de comercializar un alimento ya elaborado se valora mucho que tenga la textura que el producto y el cliente requiere. Los estabilizantes cumplen esa función (Ashurst, 1999).

Los estabilizantes están identificados como aditivos alimentarios, y según el código E (Madrid y Centeno, 1974), que es un código asignado a los aditivos alimentarios aceptados por la unión europea, estos forman parte del grupo que va del E-400 al E-495. Algunos ejemplos que forman parte de este grupo de aditivos son: los derivados del almidón, las pectinas, las celulosas modificadas, las gomas provenientes de las algas marinas y las provenientes de las plantas, entre otros (Peterson y Johnson, 1974). Sin embargo, los principales estabilizantes utilizados en la industria para la producción de néctares de fruta son: la goma guar, la goma xantan, el C.M.C (carboximetilcelulosa) y la pectina.

### **II.1.3.- Proceso de producción de los néctares de fruta.**

El proceso de producción de los néctares de frutas consta de 3 etapas principales que se describen a continuación:

### **II.1.3.1.- Adición y mezclado de los ingredientes.**

En un tanque de mezclado, primero se adiciona el agua y luego se procede a adicionar el azúcar con la goma, de manera de hacer más fácil la disolución de la goma. Paso siguiente se adicionan los demás ingredientes, los ácidos orgánicos, la pulpa y la esencia, y se continua agitando hasta alcanzar una mezcla lo más homogénea posible. En esta etapa se realiza un seguimiento de las propiedades del producto de manera de cumplir con los parámetros de producción, realizando la medición de las propiedades fisicoquímicas y sensoriales del producto.

### **II.1.3.2.- Pasteurización.**

La siguiente etapa es la pasteurización, la cual consiste en un tratamiento térmico en donde el producto es sometido a una combinación de tiempo-temperatura de manera de poder destruir las bacterias patógenas y deteriorativas que puedan existir en el mismo.

### **II.1.3.3.- Envasado y empaçado.**

La etapa final en la producción de los néctares de fruta consiste en el envasado y el empaçado. El envasado se lleva a cabo en un equipo especialmente preparado para el tipo de presentación final que se vaya a utilizar. Luego, estos envases son organizados en cajas, con un número específico de éstos, para ser transportado a los diferentes puntos de ventas.

## **II.2.- ASPECTOS GENERALES DE LA REOLOGÍA**

### **II.2.1.- Definición de Reología.**

La *reología* es la ciencia del flujo y deformación de la materia (Macosko, 1994; Barnes y otros, 1989). Abarca el estudio de todos los materiales, desde gases a sólidos. Su estudio es esencial en muchas industrias, incluyendo las de plásticos, pinturas, alimentación, tintas de impresión, detergentes o aceites lubricantes (Steffe, 1992).

### II.2.2.- Determinación de las propiedades reológicas.

Las propiedades reológicas de un fluido forman parte de los criterios esenciales en el desarrollo de productos en el ámbito industrial. Frecuentemente, éstas determinan las propiedades funcionales de algunas sustancias e intervienen durante el control de calidad, los tratamientos (comportamiento mecánico), el diseño de operaciones básicas como bombeo, mezclado y envasado, almacenamiento y estabilidad física, e incluso en el momento del consumo (textura).

Las propiedades reológicas se definen a partir de la relación existente entre fuerza o sistema de fuerzas externas y su respuesta, ya sea como deformación o flujo. Todo fluido se va a deformar en mayor o menor medida al someterse a un sistema de fuerzas externas. Dicho sistema de fuerzas se representa matemáticamente mediante el *esfuerzo cortante*  $\tau$ , mientras que la respuesta dinámica del fluido se cuantifica mediante la *velocidad de deformación*  $\dot{\gamma}$  (Pierce, 1982).

#### II.2.2.1.- Esfuerzo de corte.

Se define el *esfuerzo de corte o cizalla*  $\tau$  como la fuerza por unidad de área necesaria para alcanzar una deformación dada (Woyzechowsky, 2002). La unidad de esta magnitud más comúnmente utilizada es el Pascal (Pa).

$$\tau = \frac{F}{A} \quad \text{Ec. 4}$$

Donde  $\tau$  es el esfuerzo de corte (Pa),  $F$  es la fuerza (N) y  $A$  es el área (m<sup>2</sup>).

#### II.2.2.2.- Velocidad de deformación.

La *velocidad de deformación* ( $\dot{\gamma}$ ) se define como el cambio de velocidad  $u$  a través de la distancia  $h$  entre dos platos (Woyzechowsky, 2002). Tiene como unidad el inverso del tiempo, donde el más comúnmente usado es el s<sup>-1</sup>. La velocidad de corte se incrementa a medida que la velocidad de la placa superior aumenta y la distancia entre las placas se hace más pequeña (Barnes y otros, 1989).

$$\dot{\gamma} = \frac{\partial u}{\partial h} \quad \text{Ec. 5}$$

Donde  $\dot{\gamma}$  es la velocidad de corte ( $s^{-1}$ ),  $\partial u$  es el diferencial de velocidad (m/s) y  $h$  es la distancia entre las placas (m).

Por otro lado, el fluido entre las placas resiste el movimiento de la placa superior y esta resistencia al flujo es determinada por la viscosidad del fluido ( $\mu$ ) (Woyzechowsky, 2002).

### II.2.2.3.- Viscosidad.

La *viscosidad* es una propiedad reológica muy importante que mide la resistencia a la deformación del fluido (Brookfield, s.f.). Otra forma de definir la viscosidad es como la relación entre, el esfuerzo de corte y la velocidad de deformación adoptada por el fluido, tal como se muestra en la Ec. 6.

$$\mu = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad \text{Ec. 6}$$

Donde  $\mu$  es viscosidad [Pa·s]

En general, existen tres tipos de viscosidad: la *viscosidad absoluta*, que representa la viscosidad dinámica del líquido y es un término muy utilizado para fines prácticos (White, 1979); la *viscosidad cinemática*, que es el cociente entre la viscosidad dinámica y la densidad (Streeter, 1968), y la *viscosidad aparente*, término que se utiliza al hablar de “viscosidad” para fluidos no-Newtonianos, ya que el valor de esta propiedad dependerá de la velocidad de deformación adoptada por el fluido (Pierce, 1982).

### II.2.2.4.- Instrumentos de medición de las propiedades reológicas.

Los instrumentos capaces de medir propiedades reológicas fundamentales de los alimentos líquidos y semi-sólidos, pueden ser clasificados en dos categorías generales: de tipo rotacional y de tipo tubular. Estos instrumentos pueden ser

denominados reómetros, los cuales son utilizados para medir propiedades reológicas, y viscosímetros, término que se limita a equipos que sólo miden viscosidades (Steffe, 1992).

#### II.2.2.4.1.- Reómetro.

Los reómetros pueden ser divididos en instrumentos de control de calidad y en instrumentos para investigación y desarrollo. Los instrumentos para control de calidad son aquellos que no poseen una geometría de corte controlada, lo que implica que la velocidad de deformación no está definida; esto quiere decir que la viscosidad medida no es la viscosidad absoluta (Woyzechowsky, 2002).

Los instrumentos para investigación y desarrollo poseen una geometría de corte controlada, es decir, que la velocidad de deformación puede ser variada para obtener diferentes datos de viscosidad aparente (Whorlow, 1992).

En la figura II.1 se pueden observar algunas de las geometrías más comunes en los reómetros para investigación y desarrollo.

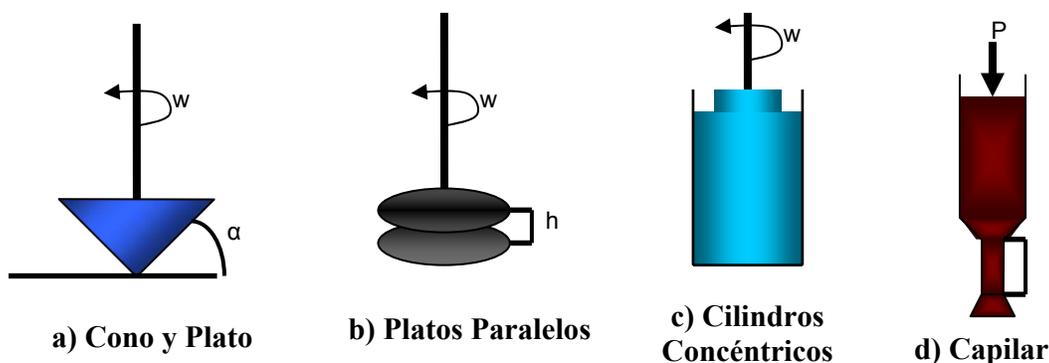


Figura II.1: Geometrías comunes de los reómetros (Woyzechowsky, 2002).

#### II.2.2.4.2.- Viscosímetro.

Para medir la viscosidad de los líquidos, hay disponibles numerosos tipos de aparatos, en función de la cantidad de fluido utilizable en el ensayo o de la precisión buscada. Estos aparatos sólo sirven para la medición de la viscosidad y no son aplicables para obtener otras propiedades reológicas; sin embargo, los reómetros son considerados viscosímetros, ya que éstos miden la viscosidad además de las otras propiedades.

Algunos ejemplos de viscosímetros que se pueden citar son: el viscosímetro capilar, viscosímetro rotatorio (viscosímetro de Brookfield), viscosímetro de bola, viscosímetro de burbuja y la copa de viscosidad (ver figura II.2).



Figura II.2: (a) Copa de viscosidad acoplada a un soporte universal. (b) Viscosímetro rotatorio de Brookfield.

### II.2.3.- Aspectos generales de los fluidos.

Un fluido es una sustancia que se deforma continuamente cuando se somete a un esfuerzo de corte, por muy pequeño que este sea (Streeter, 1968). También se puede definir como aquella sustancia que, debido a su poca cohesión intermolecular, carece de forma propia y adopta la forma del recipiente que lo contiene (Steffe, 1992).

A pesar de que los gases también se consideran fluidos, sólo se hará mención a los fluidos líquidos, ya que para este estudio no se trabajará con gases.

#### II.2.3.1.- Tipos de fluidos.

Existen dos tipos diferentes de comportamientos reológicos bien marcados, éstos son: los fluidos Newtonianos y los fluidos no-Newtonianos (Brookfield, 2000).

##### II.2.3.1.1.- Fluidos Newtonianos.

Un fluido Newtoniano se caracteriza por cumplir la Ley de Newton de la viscosidad, es decir, que existe una relación lineal entre el esfuerzo de deformación y la velocidad de deformación (Brookfield, 2000). Esto es debido a que la viscosidad es constante para este tipo de fluidos y no depende del esfuerzo cortante aplicado (ver figura II.3).

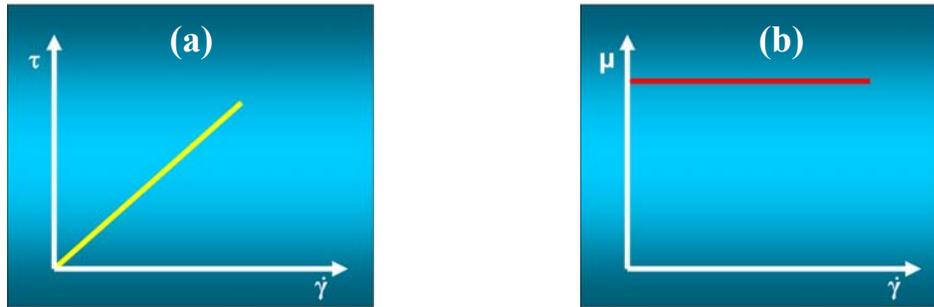


Figura II.3: Curvas de fluidez (a) y de viscosidad (b) para un fluido Newtoniano.

Es importante resaltar que la viscosidad de un fluido Newtoniano no depende del tiempo de aplicación del esfuerzo, aunque sí puede depender tanto de la temperatura como de la presión a la que se encuentre.

Para una mejor comprensión de este tipo de fluido se representan dos tipos de gráficas (ver figura II.3), la *Curva de Fluidez* y la *Curva de Viscosidad*. En la curva de fluidez se gráfica el esfuerzo cortante frente a la velocidad de deformación ( $\tau$  vs  $\dot{\gamma}$ ), mientras que en la curva de viscosidad se representa la viscosidad en función de la velocidad de deformación ( $\mu$  vs  $\dot{\gamma}$ ).

En la curva de fluidez, el valor de la viscosidad  $\mu$  es la pendiente de la recta que forman el esfuerzo de corte y la velocidad de deformación, la cual es constante para cualquier valor aplicado. Además se observa en la curva de viscosidad que ésta es constante para cualquier velocidad de deformación aplicada. La ecuación que modela un fluido Newtoniano es la siguiente:

$$\tau = \mu \cdot \frac{du}{dy} \quad \text{Ec. 7}$$

donde  $\tau$  es el esfuerzo cortante (mPa),  $\mu$  es la viscosidad dinámica del fluido (mPa·s) y  $du/dy$  es la velocidad de deformación del fluido ( $s^{-1}$ ) =  $\dot{\gamma}$

### II.2.3.1.2.- Fluidos no-Newtonianos.

Los fluidos no-Newtonianos son aquellos en los que la relación entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación no es lineal (Brookfield, 2000). En otras palabras, la viscosidad en este tipo de fluidos cambia al variar la velocidad de corte. Estos fluidos a su vez se dividen en: fluidos dependientes del tiempo, fluidos independientes del tiempo y fluidos viscoelásticos.

#### *Fluidos independientes del tiempo.*

Estos fluidos se pueden clasificar dependiendo de si tienen o no esfuerzo umbral, es decir, si necesitan un mínimo valor de esfuerzo cortante para que el fluido se ponga en movimiento. En este trabajo solo se tratarán los fluidos independientes del tiempo.

##### *a) Fluidos sin esfuerzo umbral.*

Este tipo de fluidos se divide a su vez en fluidos pseudoplásticos y fluidos dilatantes. Los fluidos pseudoplásticos se caracterizan por una disminución de su viscosidad aparente con el aumento de la velocidad de deformación. Tanto para las velocidades de deformación bajas como para las altas los fluidos pseudoplásticos exhiben un comportamiento Newtoniano (Rauendaal, 1992). Para más detalle sobre el comportamiento de este fluido, se pueden observar las siguientes curvas (Figura II.4).

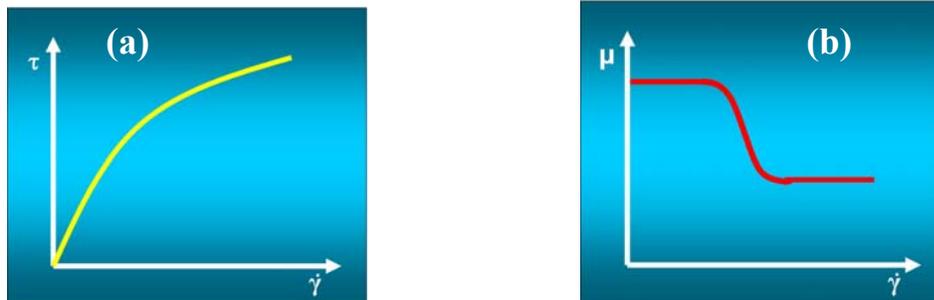


Figura II.4: Curvas de fluidez (a) y de viscosidad (b) para un fluido pseudoplástico.

Por otro lado, para los fluidos dilatantes, a diferencia de los pseudoplásticos, se produce un aumento en la viscosidad aparente con el aumento de la velocidad de deformación (Chhabra y Richardson, 1999). En la figura II.5 se presentan las curvas de fluidez y viscosidad para este tipo de fluidos.

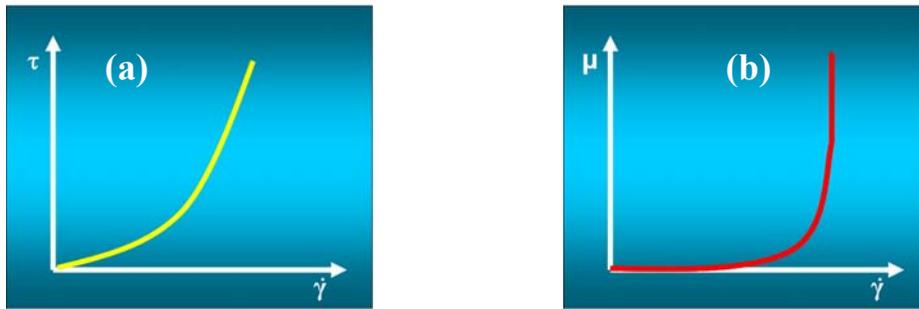


Figura II.5: Curvas de fluidez (a) y de viscosidad (b) para un fluido dilatante.

*b) Fluidos con esfuerzo umbral (plásticos)*

Este tipo de fluido se comporta como un sólido hasta que sobrepasa un esfuerzo cortante mínimo (esfuerzo umbral o de cedencia), a partir de dicho valor se comporta como un líquido. Las curvas de fluidez y viscosidad se presentan en la figura II.6.

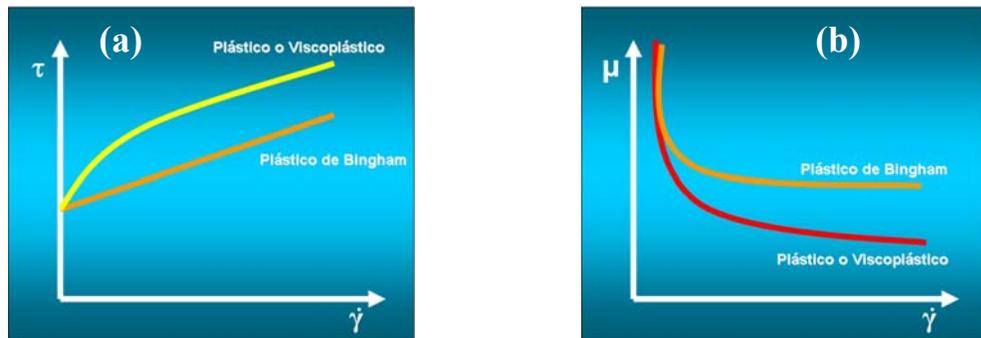


Figura II.6: Curvas de fluidez (a) y de viscosidad (b) para un fluido plástico

Los fluidos plásticos, a su vez, se dividen en: plásticos de Bingham y fluidos viscoplásticos. Para el caso del plástico de Bingham, luego de superar el esfuerzo de umbral, la relación entre el esfuerzo de deformación y la velocidad de deformación es lineal. En caso de no existir una relación lineal dicho fluido se denomina plástico o viscoplástico (ver figura II.6) (Alderman y Cheng, 2004). Algunos ejemplos de comportamiento plástico son: el chocolate, la arcilla, la mantequilla, la mayonesa, la pasta de dientes, las emulsiones y las espumas.

### II.2.4.- Modelos Reológicos.

El análisis de los datos reológicos se realiza, por lo general, con la ayuda de modelos matemáticos. Los fluidos no-Newtonianos pueden simplemente ser expresados a través de una ecuación y, en algunos casos, los coeficientes de un modelo pueden ser usados para deducir el comportamiento de un fluido bajo las condiciones de uso (Steffe, 1992).

Existen una gran cantidad de ecuaciones utilizadas para describir el comportamiento reológico de los fluidos no-Newtonianos; sin embargo, existe un modelo general que describe el comportamiento de la mayoría de los fluidos no-Newtonianos llamado el modelo de Herschel-Bulkley:

$$\tau = k \cdot \dot{\gamma}^n + \tau_0 \quad \text{Ec. 8}$$

Donde  $k$  es el coeficiente de consistencia,  $n$  es el índice del comportamiento del flujo y  $\tau_0$  es el esfuerzo de umbral. Este modelo es apropiado para muchos fluidos alimenticios (Steffe, 1992). Además del modelo de Herschel-Bulkley, existen otros modelos reológicos que pueden describir el comportamiento de los fluidos no-Newtonianos independientes del tiempo, entre los más conocidos están: la ley de Potencia, utilizada por lo general para modelar los fluidos pseudoplásticos; el modelo de Bingham, el cual describe el comportamiento de los fluidos plásticos, y la ecuación de Casson Ec. 9, la cual fue adoptada por la Oficina Central de Cacao y Chocolate como el modelo oficial para la interpretación del comportamiento del flujo del chocolate (Steffe, 1992).

$$\tau^{0.5} = k_c \cdot \dot{\gamma}^{0.5} + \tau_0^{0.5} \quad \text{Ec. 9}$$

Donde  $k_c$  es el coeficiente de consistencia de Casson y  $\tau_0$  es el esfuerzo de umbral.

La Ec. 8 es muy conveniente, ya que la Ley de Newton de la viscosidad (Ec. 7), la ley de Potencia y el comportamiento del plástico de Bingham pueden ser considerados casos especiales de dicha ecuación (ver Tabla II.1).

Tabla II.1: Características de los tipos de Fluido. (Steffe, 1992).

Tipo de Fluido		$k$	$n$	$\tau_0$	Ecuación
Herschel-Bulkley		$> 0$	$0 < n < \infty$	$> 0$	$\tau = k \cdot \dot{\gamma}^n + \tau_0$
Newtoniano		$> 0$	1	0	$\tau = \mu \cdot \dot{\gamma}$
Ley de Potencia	Pseudoplástico	$> 0$	$0 < n < 1$	0	$\tau = k \cdot \dot{\gamma}^n$
	Dilatante	$> 0$	$1 < n < \infty$	0	$\tau = k \cdot \dot{\gamma}^n$
Plástico de Bingham		$> 0$	1	$> 0$	$\tau = \mu \cdot \dot{\gamma} + \tau_0$

Para los fluidos dependientes del tiempo y los viscoelásticos se requieren ecuaciones de mayor complejidad que son igualmente descritas en diversas fuentes (Barnes y otros, 1989; Brookfield, 2000; Chhabra y Richardson, 1999; Roudot, 2004; Steffe, 1992).

### II.3.- ASPECTOS GENERALES DE LA HOMOGENIZACIÓN

#### II.3.1.- Definición de homogenización.

La *homogenización* es un proceso mecánico que involucra la subdivisión de partículas o glóbulos de grasa o aceite, hasta alcanzar tamaños microscópicos para crear una dispersión o emulsión estable, lo cual se traduce en una mejora substancial de un número importante de cualidades del producto (Tetra Pak, 2001).

#### II.3.2.- Homogenizador.

El *homogenizador* es un equipo conformado por una bomba de desplazamiento positivo de alta presión y una unidad de homogenización que no es más que un ensamblaje de válvulas (APV, s.f.). Su función es la de quebrar en pedazos partículas y glóbulos líquidos, reduciendo su tamaño y mejorando substancialmente un número importante de cualidades de los productos, como estabilidad, textura o viscosidad. En la figura II.7 se pueden observar de manera detallada las partes que conforman un homogenizador.

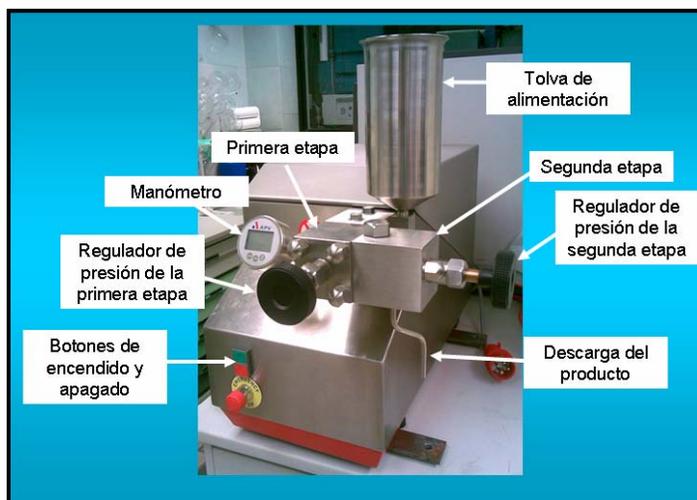


Figura II.7: Partes que componen un homogenizador de alta presión (Homogenizador APV-1000)  
(Elaboración Propia).

Para entender el funcionamiento de un homogenizador, es necesario explicar el proceso completo desde la entrada del producto a homogenizar hasta la etapa donde se obtiene el producto homogenizado.

Como se puede observar en la figura II.8 el producto a homogenizar entra a la válvula de asiento desde la bomba cilíndrica a baja velocidad, pero a alta presión. Por ejemplo, la velocidad entre 10 y 20 pie/s y la presión de hasta 3000 psig. Esta presión es generada por una bomba de desplazamiento positivo y por la resistencia a fluir causada por las válvulas. Cuando el producto entra al espacio entre la válvula y el asiento, se produce un rápido incremento en la velocidad; en este caso para una presión de entrada de 3000 psig la velocidad será de 500 pie/s, con una correspondiente caída de la presión. En esta etapa se lleva a cabo la homogenización, la cual es explicada a través de las teorías de homogenización que son mencionadas más adelante. El producto homogenizado choca con los aros de impacto y sale con una presión lo suficientemente alta como para poder moverse a la siguiente etapa del proceso (APV, s.f.).

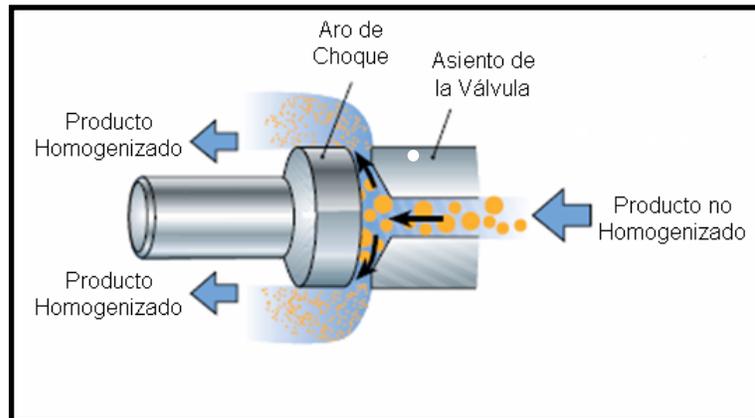


Figura II.8: Diagrama del proceso de homogenización (Tetra Pak, s.f.)

### II.3.3.- Técnicas de homogenización.

Existen tres técnicas de homogenización, éstas son: la homogenización de una etapa, la homogenización de dos etapas y la homogenización de múltiple paso (Tetra Pak, 2001). Los homogenizadores están constituidos por uno o dos equipos conectados en serie, de ahí los nombres de homogenizador de una etapa y homogenizador de dos etapas. Ambos sistemas se pueden observar en las figuras II.9.(a y b).



Figuras II.9: Homogenizadores de una (a) y dos etapas (b) (Tetra Pak, 2001).

La homogenización de una etapa es utilizada principalmente para productos que demandan una alta viscosidad, mientras que la homogenización de dos etapas es usada para productos con alto contenido de grasa o en productos donde se desea una alta eficiencia de homogenización (Tetra Pak, 2001).

En la figura II.10, se puede observar la diferencia de las condiciones del producto después de pasar por cada una de las etapas de homogenización. En la primera etapa (II.10.b) se alcanza el tamaño de partícula deseado, pero las partículas tienden a aglomerarse debido a la alta turbulencia presente en la salida de la primera etapa, pero

al pasar por la segunda etapa (II.10.c) se produce una redistribución de dichas partículas, obteniéndose un producto más homogéneo, aunque no hay un efecto importante sobre el tamaño de las mismas.

Si lo que se requiere es una mejor distribución en el tamaño de las partículas, entonces será necesario homogenizar el producto más de una vez; este proceso es el llamado homogenización de múltiple paso. Esto se puede llevar a cabo a través del uso de dos o más homogenizadores en serie, o a través de la recirculación del producto a través de un homogenizador. (Tetra Pak, 2001).

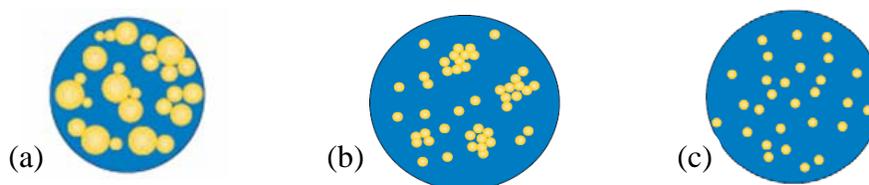


Figura II.10: Condiciones del producto antes de ser homogenizado (a), después de la primera etapa (b), (c) después de la segunda etapa (Tetra Pak, 2001).

### II.3.4.- Teorías de homogenización.

Muchas teorías acerca del mecanismo de la homogenización a alta presión han sido presentadas a través de los años, pero en la actualidad dos teorías han logrado mantenerse. Cuando ambas teorías se juntan dan una adecuada explicación de la influencia de los diferentes parámetros en el efecto de la homogenización (Tetra Pak, 2001).

La teoría de la ruptura de los glóbulos o partículas por causa de la turbulencia de los remolinos, está basada en el hecho de que una gran cantidad de pequeños remolinos son creados en un líquido que viaja a altas velocidades. Velocidades aún más altas producen remolinos más pequeños. Si por ejemplo un remolino golpea una gota de aceite de su mismo tamaño, la gota se quebrará. Esta teoría predice cómo el efecto de la homogenización varía con la presión de homogenización.

Por otro lado, la teoría de *cavitación* dice que debido a la intensa energía liberada, cuando el producto pasa entre la válvula y el asiento (ver figura II.8), se produce una gran turbulencia y diferencias de presión, las cuales se encargan de partir en varios

pedazos las partículas, ya que las ondas de choques creadas cuando las burbujas de vapor implotan producen la ruptura de dichas partículas. De acuerdo con esta teoría, la homogenización toma lugar cuando el fluido sale del espacio entre el asiento de la válvula y la válvula homogeneizante; por lo tanto, la presión de entrada al ensamblaje de válvulas es muy importante tanto para la cavitación como para la homogenización. Sin embargo, es posible homogenizar sin cavitación, pero es mucho menos efectivo (Tetra Pak, 2001).

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA EXPERIMENTAL**

A continuación se presenta, de manera detallada, la metodología que se utilizó para cumplir los objetivos propuestos en este Trabajo Especial de Grado, la cual consta de cuatro etapas principales, descritas a continuación.

#### **III.1.- Medición de los cambios de viscosidad por efectos de homogenización en distintas concentraciones de los estabilizantes comúnmente empleados en los néctares de fruta.**

En esta primera etapa se utilizó un modelo alimentario agua-goma, ya que permite estudiar el efecto de la homogenización sobre el agente estabilizante. Los estabilizantes utilizados para este análisis fueron la goma guar, la goma xantan, la carboximetilcelulosa (C.M.C.) y la pectina, por ser los estabilizantes más frecuentemente empleados en la producción de los néctares de fruta. Las muestras fueron homogenizadas a presiones de homogenización de 100 y 200 bar, para poder comparar el efecto de la presión de homogenización sobre la viscosidad aparente de las muestras. Para el estudio de los néctares de fruta en su fórmula completa, y debido a temas de confidencialidad, los sabores fueron nombrados como néctar de fruta 1, néctar de fruta 2 y néctar de fruta 3.

##### **III.1.1.- Medición de los cambios de viscosidad por efectos de homogenización en un modelo alimentario agua-goma a distintas concentraciones de estabilizantes.**

Para el modelo alimentario agua-goma el rango de concentraciones de estabilizante estudiado fue de 0,1 a 3,0% m/v de manera de cubrir todas las concentraciones de goma que son comúnmente utilizadas en la producción de los néctares de fruta y sus concentrados. Los pasos seguidos en esta etapa fueron:

### III.1.1.1.- Preparación de las muestras.

El primer paso consistió en preparar las mezclas agua-goma. Para ello se pesó la cantidad de estabilizante a evaluar, haciendo uso de una balanza analítica, y se agregó azúcar (2% m/v) para facilitar la disolución de la goma en el agua. El agua se precalentó hasta una temperatura entre 50 y 60°C. Luego, se procedió a agregar la goma de manera pausada al agua caliente. La solución es mezclada haciendo uso de agitadores hasta que se encuentre lo más homogénea posible, en la figura III.1 se puede observar el montaje para la preparación de la mezcla.

Se prepararon muestras de 2 L para cada concentración de estabilizantes de manera de obtener 500 mL de muestra homogenizada a 100 y 200 bar de presión, además de una muestra no homogenizada, esto con la finalidad de tener suficiente muestra para las mediciones de la viscosidad que se realizaron.



Figura III.1: Montaje del agitador para la preparación de las muestras (Elaboración Propia).

### III.1.1.2.- Homogenización de las muestras.

La siguiente etapa consistió en la homogenización de las muestras. Inicialmente se realizó un precalentamiento hasta 65°C, para facilitar el proceso de disminución del tamaño de partículas. Este precalentamiento, para las concentraciones bajas de estabilizantes, se puede llevar a cabo haciendo uso de una plancha de calentamiento directo, pero para las concentraciones altas se debe utilizar un baño térmico, de manera de asegurar una temperatura mucho más homogénea para toda la muestra.

Posteriormente, se procede a homogenizar la muestra. Este proceso se lleva a cabo de la siguiente manera: para cada concentración de estabilizante evaluado, se introduce la totalidad de la muestra en la tolva del equipo y se enciende el equipo, luego la

presión de homogenización es llevada a los 100 bar y se recoge la cantidad de muestra requerida; esto se repite para los 200 bar y, finalmente, se retira toda la presión y se recoge la muestra restante. Así, se obtienen 500 ml de muestra para cada una de las tres (3) presiones aplicadas (0, 100 y 200 bar). Para esta parte del estudio, a nivel de laboratorio, se utilizó un homogenizador APV 1000 (ver figura II.8).

#### **III.1.1.3.- Pasteurización de las muestras.**

Este proceso se realizó, debido a que aunque las muestras no requieren un tiempo de vida útil muy prolongado, por el período durante el cual se desarrollará el estudio, es necesario simular de la manera más exacta posible lo que sucede a nivel industrial. Así, la muestra ya homogenizada, es calentada hasta una temperatura de 90°C, de manera de garantizar la destrucción de las bacterias patógenas y deteriorativas que puedan existir en el mismo. Luego de pasteurizada la muestra, ésta se envasa, se tapa y se almacena para ser luego analizada.

#### **III.1.1.4.- Medición de la viscosidad.**

Se utilizaron dos métodos distintos para la medición de la viscosidad de las muestras; el primero haciendo uso de la Copa Ford #4 para obtener las viscosidades absolutas y, adicionalmente, se usó el viscosímetro de Brookfield, modelo RV-DVI, para analizar la viscosidad de las muestras a distintas velocidades de deformación.

##### **III.1.1.4.1.- Medición con la Copa Ford.**

Este es el instrumento de medición de viscosidad cinemática comúnmente usado en las plantas productoras de néctares para el control de calidad. Su uso sólo consiste en la medición del tiempo que tarda la muestra en desalojar la copa. La Copa de viscosidad utilizada fue la Copa Ford #4, la cual se muestra en la figura III.2. Estas mediciones se efectuaron a una temperatura de muestra de 20°C aproximadamente y a presión atmosférica.



Figura III.2: Copa Ford # 4 utilizada para la medición de la viscosidad de las muestras (Elaboración Propia).

Para convertir los valores del tiempo de descarga que se obtienen a partir de las mediciones realizadas con la copa Ford #4 a unidades de viscosidad cinemática, se usó la curva de conversión de viscosidad para las copa Ford (Figura A.1, apéndice A). Sin embargo, para este caso se tiene una serie de muestras con tiempos de descarga menores a 20 s, que es el límite de tiempo de descarga inferior para la copa Ford #4, motivo por el cual se construyó una tabla de tiempo (s) vs viscosidad cinemática (cSt) usando la curva de conversión de viscosidad para la copa Ford #4 mencionada anteriormente, y a partir de estos datos se construyó una nueva curva que permitiera agregar una línea de tendencia y poder realizar la extrapolación (Figura A.2, apéndice A). Finalmente, la ecuación que relaciona el tiempo de descarga con el valor de la viscosidad cinemática se muestra a continuación:

$$\nu = 3,85.t - 17,29 \quad \text{Ec. 10}$$

Donde  $t_{\text{des}}$  es el tiempo de descarga (s).

Por otro lado, se determinaron las densidades de las muestras, haciendo uso de un densitómetro Anton Parr (figura III.3), para poder comparar los valores de viscosidad obtenidos con la copa Ford (viscosidad cinemática), con los valores que dados por el viscosímetro de Brookfield (viscosidad dinámica). La ecuación correspondiente es.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad \text{Ec. 11}$$

Donde  $\nu$  es la viscosidad cinemática ( $\text{m}^2/\text{s}$ ),  $\mu$  es la viscosidad dinámica ( $\text{mPa}\cdot\text{s}$ ) y  $\rho$  es la densidad ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).



Figura III.3: Densitómetro AntonParr utilizado para la medición de la densidad de las muestras (Elaboración Propia).

#### III.1.1.4.2.- Medición con el viscosímetro de Brookfield.

El viscosímetro de Brookfield es un equipo que mide la viscosidad aparente de un fluido a una velocidad de corte o de deformación dada, ya que la misma se puede variar. Por lo tanto, con el análisis de los datos que se obtienen con este equipo se puede determinar el tipo de fluido, ya sea Newtoniano o no-Newtoniano, a través de un reograma.

En la figura III.4 se puede observar el montaje para la realización de las mediciones haciendo uso del viscosímetro de Brookfield modelo RV. Se utilizó un beaker de 600mL como contenedor de la muestra y se procedió a seleccionar la aguja y la velocidad de deformación a la cual se trabajó; esto dependió del grado de viscosidad de la muestra.

Para determinar los parámetros reológicos a distintas concentraciones de estabilizante, se realizaron mediciones para un rango de velocidades de deformación de 100, 60, 50, 30 y 20 rpm, utilizando diferentes tipos de agujas. Estas mediciones se efectuaron a 20 °C aproximadamente, que es la correspondiente a la temperatura del laboratorio, y a presión atmosférica.



Figura III.4: Montaje para las mediciones de las viscosidades usando un viscosímetro de Brookfield RV. (Elaboración Propia).

### **III.1.2.- Medición de los cambios de viscosidad por efectos de homogenización en los néctares de fruta.**

En esta etapa se determinó el efecto de la homogenización sobre la viscosidad en los néctares de fruta 1, 2 y 3, y luego se comparó estos resultados con los obtenidos en la etapa anterior (sección III.1.1) y se evaluó el efecto de los demás ingredientes que conforman los néctares. Debido a asuntos de confidencialidad tampoco se mencionan el tipo de estabilizante usados, en la Tabla III.2 se observa de manera esquemática el néctar de fruta con su respectivo estabilizante.

#### **III.1.2.1.- Medición de las viscosidades de los néctares en su fórmula completa, sin pasar por la etapa de homogenización.**

Inicialmente se evaluó la viscosidad de néctares producidos tanto a escala industrial como a nivel de laboratorio, sin pasar por la etapa de homogenización. Esta base de datos se utilizó para comparar y determinar los posibles efectos del proceso de homogenización en las propiedades de los néctares. Por un lado, a nivel de planta, se tomaron muestras del producto terminado y se analizaron usando la copa Ford # 4. Por otro lado, en el caso de las pruebas a nivel de laboratorio, se prepararon muestras de 1 L, por lo menos 5 muestras de cada sabor, utilizando las fórmulas completas, y se les realizaron los correspondientes análisis con la copa Ford # 4 como instrumento de medición.

### III.1.2.2.- Medición del efecto de la homogenización sobre las viscosidades de los néctares a diferentes concentraciones de estabilizantes, en su fórmula completa.

En este caso, se realizaron modificaciones de las formulaciones completas, variando la cantidad de estabilizante utilizado. Se trabajó con concentraciones desde un 50 hasta 300% m/v de la concentración de estabilizante *A*, *B* y *C* en la fórmula original correspondientes a los néctares de fruta 1, 2 y 3, respectivamente. Luego, se procedió a la medición de la viscosidad de las muestras usando tanto la copa Ford #4 como el viscosímetro de Brookfield.

A continuación se presentan las Tablas III.1 y III.2 con el resumen de la metodología usada para esta parte del trabajo, tanto para los modelos como los néctares en su fórmula completa.

Tabla III.1: Resumen de la metodología usada para los modelos agua-estabilizante.

Estabilizantes usados	Presión de Homogenización (bar)	Rango de Concentración (% m/v)	Cantidad de Azúcar (% m/v)
C.M.C., Guar, Xantan, Pectina.	100 y 200	0,1 a 3,0	2,0

Tabla III.2: Resumen de la metodología usada para los néctares de fruta.

Néctar de fruta	Estabilizante usado	Presión de Homogenización (bar)	Rango de Concentración <sup>1</sup> (% m/v)
1, 2 y 3	<i>A</i> , <i>B</i> y <i>C</i>	100 y 200	50 a 300

1. Porcentaje de estabilizante a partir de la fórmula original.

### III.1.3.- Análisis estadístico.

Para determinar estadísticamente el efecto de la presión de homogenización y la concentración de estabilizante sobre la viscosidad de las muestras se realizó un análisis estadístico, utilizando el software Statgraphic plus 5.1®, a través de un análisis de varianza donde se compararon los valores medidos experimentalmente de las viscosidades para las diferentes presiones de homogenización y las diferentes concentraciones de estabilizante.

Para conocer si existe una diferencia significativa de los valores de las viscosidades, se observó el valor de *p* arrojado por el software, que no es más que el valor de la

probabilidad de obtener un valor como el observado o más extremo si la hipótesis nula es cierta; por lo tanto, si el valor de  $p$  es menor a 0,05 entonces si hay una diferencia significativa entre las viscosidades con un 95% de nivel de confianza; lo contrario sucede cuando  $p < 0,05$ .

### **III.2.- Estudio reológico.**

En esta etapa de la metodología se procedió a realizar el estudio reológico de los néctares; además de los modelos agua-goma a diferentes concentraciones de estabilizantes mencionados en la sección III.1, para las presiones de homogenización. El propósito de este estudio fue determinar los parámetros reológicos de las muestras, que permitieron luego construir los modelos matemáticos que describen el comportamiento reológico de los mismos. Para llevar a cabo esta etapa se determinó la viscosidad aparente de las muestras a diferentes velocidades de deformación, usando el viscosímetro de Brookfield modelo RV, a las temperaturas de 20, 65 y 90°C, correspondientes a la temperatura de la etapa de preparación, de precalentamiento y pasteurización, respectivamente. Dichas temperaturas fueron controladas haciendo uso de un baño de calentamiento. Las velocidades de deformación a las que se determinaron las viscosidades aparentes fueron de 20, 30, 50, 60 y 100 rpm.

Después de obtener los datos se construyeron las curvas de viscosidad en función de la velocidad de deformación ( $\mu$  vs  $\dot{\gamma}$ ) y el esfuerzo de deformación en función de la velocidad de deformación ( $\tau$  vs  $\dot{\gamma}$ ) para luego realizar un ajuste a dichas curvas utilizando el modelo reológico que mejor describiera el comportamiento de las muestras en estudio.

Finalmente, con la ayuda de Excel®, se obtuvo el modelo reológico, para cada modelo agua-goma y para cada muestra de néctar de fruta, que describe el efecto tanto de la temperatura como de la concentración de estabilizante sobre las propiedades reológicas de las muestras en estudio, a diferentes presiones de homogenización.

Para explicar el efecto de la temperatura sobre las propiedades reológicas de los modelos y de los néctares se utilizó la ecuación de Arrhenius (Ec. 3), para lo cual haciendo uso de Excel® se procedió a linealizar los valores de los parámetros reológicos vs el inverso del tiempo, de manera de determinar si existe una relación entre la temperatura y dichos parámetros.

### III.3.- Estudio de la estabilidad.

Uno de los objetivos de aplicar el proceso de homogenización y de usar estabilizantes en la producción de néctares es mantener la suspensión del producto lo más estable posible. Por lo tanto, se realizó un estudio de la estabilidad para los productos correspondiente a la sección III.1.2.2, para observar el efecto de la homogenización, a diferentes concentraciones de estabilizantes, sobre la estabilidad de los mismos. Este estudio se llevó a cabo a través de una medición periódica del porcentaje de sedimentación que se observó en el producto respecto al volumen de muestra en la botella. Para realizar la medición del porcentaje de sedimentación se procedió a preparar y envasar los productos en estudio, y se colocaron en un lugar donde pudieran reposar sin ser movidos. Luego, se procedió a realizar una observación diaria durante la primera semana y luego semanal por 4 semanas, del nivel de sedimentación de los sólidos presentes en el néctar. Este nivel se obtuvo dibujando una línea de referencia para el volumen total del producto y posteriormente al momento de realizar cada evaluación se realizó una marca hasta el nivel de sedimento alcanzado (ver figura III.5), de manera de calcular el porcentaje de sedimentación de la muestra.

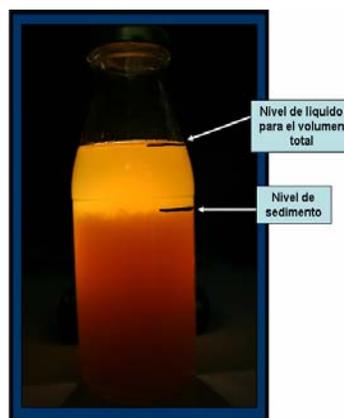


Figura III.5: Señalización del nivel de líquido total y el nivel de los sedimentos para el análisis de la estabilidad de las muestras (Elaboración Propia).

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

A continuación se presentan y discuten los resultados obtenidos a partir del trabajo experimental, los cuales se muestran en 3 secciones:

- 1) Medición de los cambios de viscosidad por efecto de la homogenización, tanto para los modelos agua-goma como para los néctares en su fórmula completa, en distintas concentraciones de los estabilizantes comúnmente empleados en los néctares de fruta.
- 2) Estudio reológico, en el cual haciendo uso del viscosímetro de Brookfield y de un baño de calentamiento se obtienen los datos necesarios para determinar el efecto de la concentración de estabilizante y de la temperatura sobre los parámetros reológicos de cada muestra, tanto para los modelos de agua-goma como para los néctares de fruta en su fórmula completa.
- 3) Estudio de estabilidad de la suspensión de los sólidos que forman parte del producto final, después de que éstos pasan por la etapa de homogenización, de manera de poder analizar el efecto de dicho proceso sobre la estabilidad de los productos de los néctares de fruta en su fórmula completa a diferentes concentraciones de estabilizante.

#### **IV.1.- Medición de los cambios de viscosidad por efectos de homogenización en distintas concentraciones de los estabilizantes comúnmente empleados en los néctares de fruta.**

Los estabilizantes utilizados para este análisis fueron la goma guar, la goma xantan, la carboximetilcelulosa (C.M.C.) y la pectina. Las muestras fueron sometidas a presiones de homogenización de 0, 100 y 200 bar, para cada una de las concentraciones de estabilizante usado. Esta etapa está dividida en dos partes: la primera corresponde a los resultados obtenidos usando el modelo agua-goma y la segunda contiene los resultados correspondientes a los néctares en su fórmula completa.

#### IV.1.1.- Medición de los cambios de viscosidad por efectos de homogenización en modelos alimentarios agua-goma a distintas concentraciones de estabilizantes.

Para el caso de la copa Ford #4, los rangos de concentraciones que pudieron ser evaluados variaron de acuerdo al estabilizante usado; para el modelo alimentario agua-goma guar se obtuvieron resultados hasta la concentración de 0,6% m/v, para el modelo agua-goma xantan hasta 0,8% m/v, para el modelo agua-C.M.C. hasta una concentración de 0,9% m/v y, finalmente, para el modelo agua-pectina se logró trabajar para el rango de concentraciones que se estipuló inicialmente (0,1 a 3,0% m/v). La razón por la cual no se pudo trabajar en la mayoría de los casos con el rango completo de concentraciones, se debió a que las muestras no eran descargadas en su totalidad de la copa de viscosidad, por lo que no fue posible realizar mediciones confiables para el resto de las concentraciones. Para el viscosímetro de Brookfield se trabajó con el rango completo de concentraciones de estabilizante (0,1 a 3,0% m/v).

##### Resultados usando la copa Ford #4:

Los resultados correspondientes a la copa Ford #4 se muestran en la figuras IV.1 a IV.4.

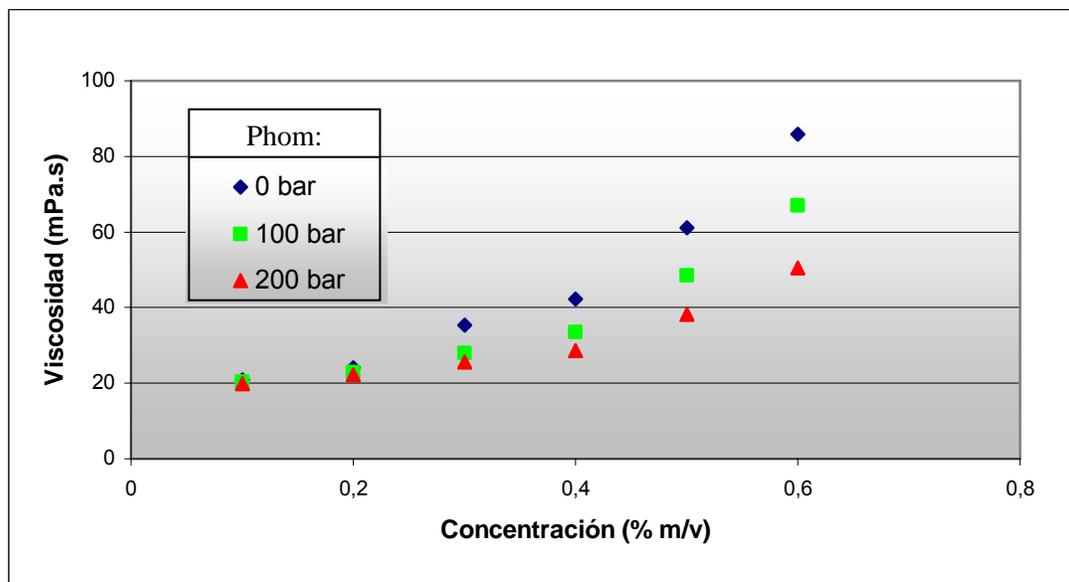


Figura IV.1. Comparación del efecto de la homogenización sobre la viscosidad del modelo alimentario agua-goma guar, usando la copa Ford #4.

Como se puede observar para el caso de la goma guar (figura IV.1), al aumentar la presión de homogenización, disminuye la viscosidad dinámica de la muestra para cada una de las concentraciones, lo cual indica que una disminución del tamaño de las partículas sólidas que forman parte de la solución, acompañado de una distribución mucho más homogénea de dichas partículas en la muestra, se traduce en una reducción de la viscosidad de la muestra en estudio (APV, s.f.). También se observa que al aumentar la concentración de goma hay un aumento en la viscosidad dinámica de dicha muestra, lo que era de esperarse, ya que la función de estos aditivos es la de mejorar la estabilidad del producto aumentando la viscosidad de los mismos (Phillips y otros, 1982).

A través de un análisis de varianza se determinó estadísticamente que tanto la concentración de estabilizante como la presión de homogenización tienen un efecto significativo ( $p < 0,05$ ) sobre la viscosidad de las muestras en estudio.

Como se mencionó anteriormente, sólo se obtuvieron resultados hasta la concentración de 0,6% m/v de goma guar; sin embargo, es poco probable algún cambio en el comportamiento de la viscosidad dinámica de las muestras a esas concentraciones en comparación al comportamiento que se observa en la figura IV.1 por lo observado en el análisis realizado con el Brookfield que se encuentra en la siguiente parte.

En las figuras IV.2 y IV.3 se muestran los comportamientos de los modelos agua-goma-xantán y agua-C.M.C., respectivamente. Al igual que en el caso anterior, se observa una disminución de la viscosidad dinámica al aumentar la presión de homogenización para cada una de las concentraciones de estabilizante. El análisis estadístico determinó un efecto significativo ( $p < 0,05$ ) de la concentración de estabilizante y de la presión de homogenización sobre las viscosidades de los modelos. Sin embargo, en estos casos se observa que la diferencia en la viscosidad dinámica para las presiones de 100 y 200 bar es relativamente pequeña si se compara con la curva de viscosidad para el producto no homogenizado. Por lo tanto, si se tuviera que elegir la presión de homogenización entre 100 y 200 bar, la opción de 100 bar sería la más acertada, ya que el consumo energético sería menor.

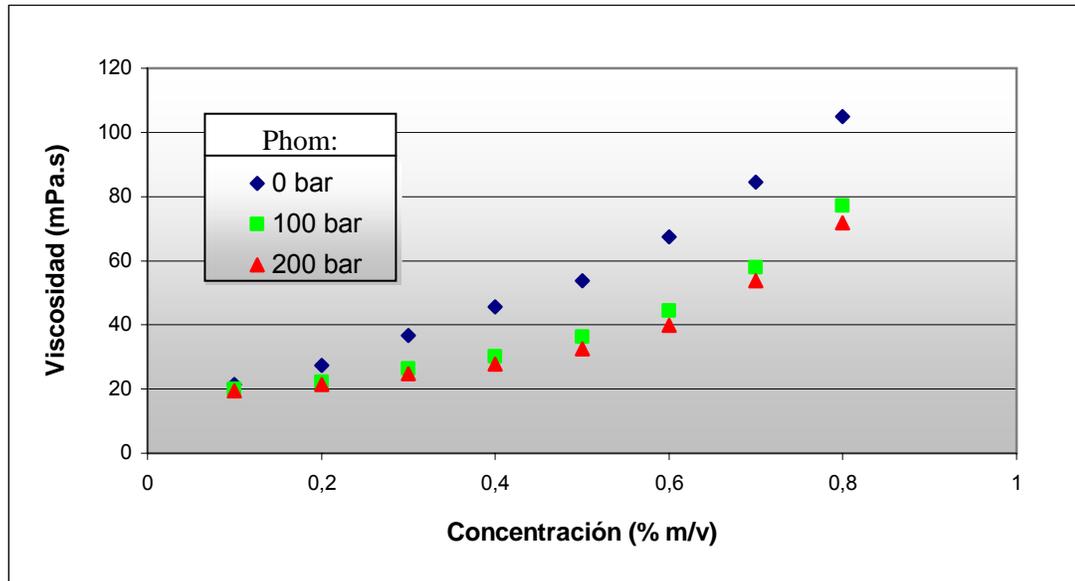


Figura IV.2. Comparación del efecto de la homogenización sobre la viscosidad del modelo alimentario agua-goma xantan, usando la copa Ford #4.

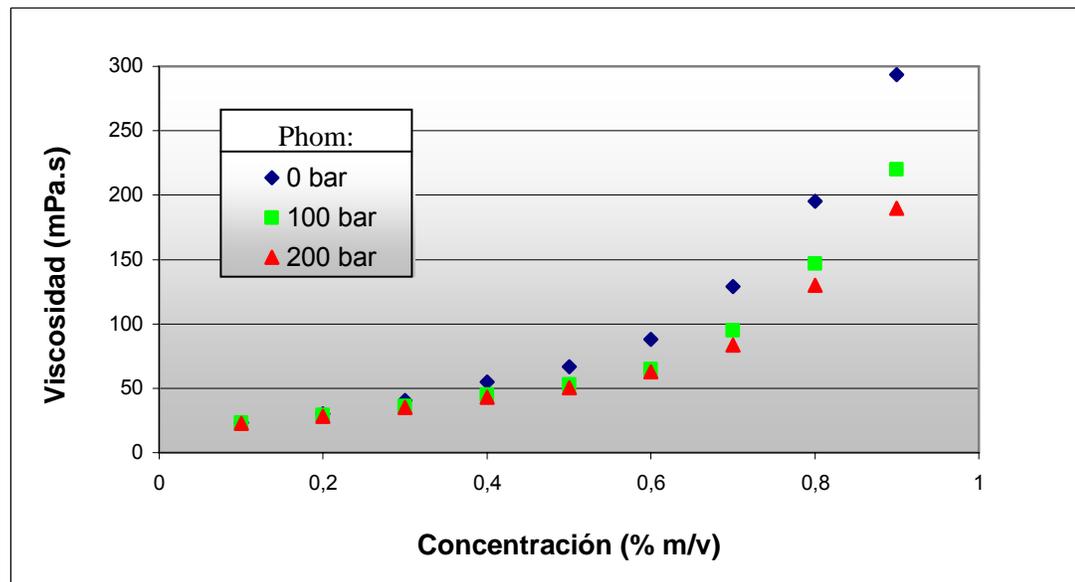


Figura IV.3. Comparación del efecto de la homogenización sobre la viscosidad del modelo alimentario agua-goma C.M.C, usando la copa Ford #4.

Finalmente, se presentan los resultados para el caso del modelo agua-pectina. En la figura IV.4 se aprecia que no existe una diferencia clara en los valores de la viscosidad dinámica para las diferentes presiones de homogenización. El análisis estadístico indicó que con respecto a la concentración de estabilizante el efecto sobre

la viscosidad es significativo ( $p < 0,05$ ), por otro lado, con respecto a la presión de homogenización se tiene que existe una diferencia estadísticamente importante ( $p < 0,05$ ); entre las viscosidades de las muestras homogenizadas ( $P_{hom} = 100$  y  $200$  bar) y las no homogenizadas ( $P_{hom} = 0$  bar); sin embargo, para la mayoría de los casos (Concentraciones: 0,2; 0,3; 0,4; 0,6; 1,0; 1,5 y 3,0% m/v) no se aprecia un efecto significativo ( $p < 0,05$ ) entre la presión de homogenización de 100bar y la de 200bar sobre la viscosidad.

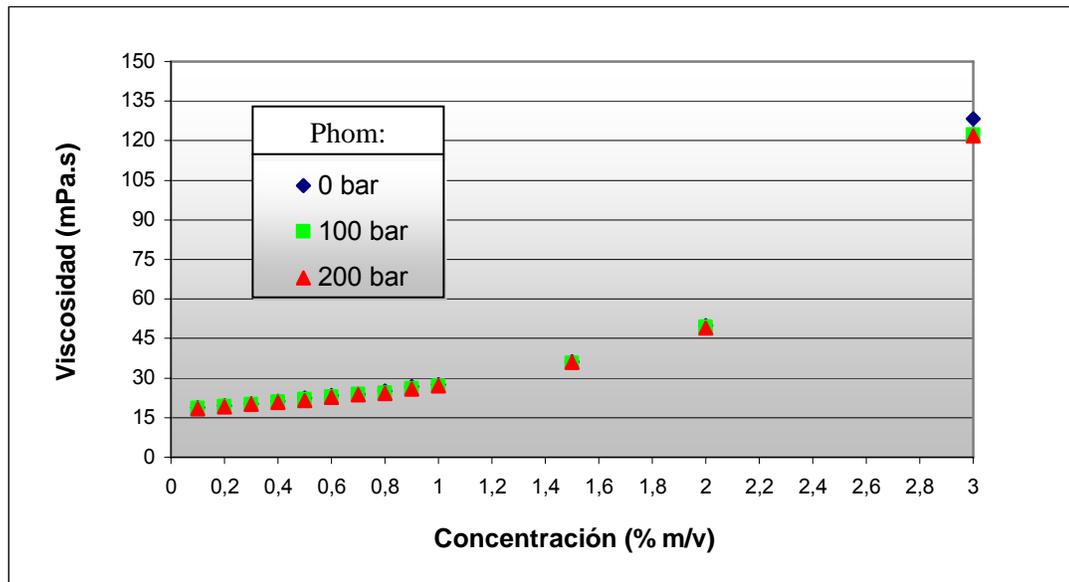


Figura IV.4. Comparación del efecto de la homogenización sobre la viscosidad del modelo alimentario agua-goma pectina, usando la copa Ford #4.

#### Resultados usando el viscosímetro de Brookfield:

Para poder mostrar mejor el efecto de la homogenización sobre la viscosidad de las muestras en todo el rango de concentraciones de estabilizante, se seleccionó una misma velocidad de deformación para cada una de las concentraciones, aunque se utilizaron diferentes agujas para distintos rangos de concentraciones.

Para visualizar mejor el comportamiento de la viscosidad aparente de las muestras en estudio, sólo se muestra el rango de concentraciones desde 0,1 a 1,0% m/v de estabilizante; sin embargo, en el apéndice B se encuentran disponibles las gráficas donde se observa el comportamiento de las viscosidades aparentes para el rango

completo de concentraciones de estabilizante (0,1 a 3,0% m/v), a cada presión de homogenización, donde se observa que no hay cambios en las tendencias.

En la figura IV.5 se observa que al disminuir la presión de homogenización la viscosidad aparente también disminuye para las concentraciones de goma xantan en estudio, confirmándose los resultados obtenidos con la copa Ford #4; además se observa un aumento en la viscosidad aparente al aumentar la concentración de estabilizante, este comportamiento también se observa para los modelos alimentarios, agua-C.M.C., agua-goma guar y agua-pectina, como se puede ver en las figuras IV.6, IV.7 y IV.8, respectivamente.

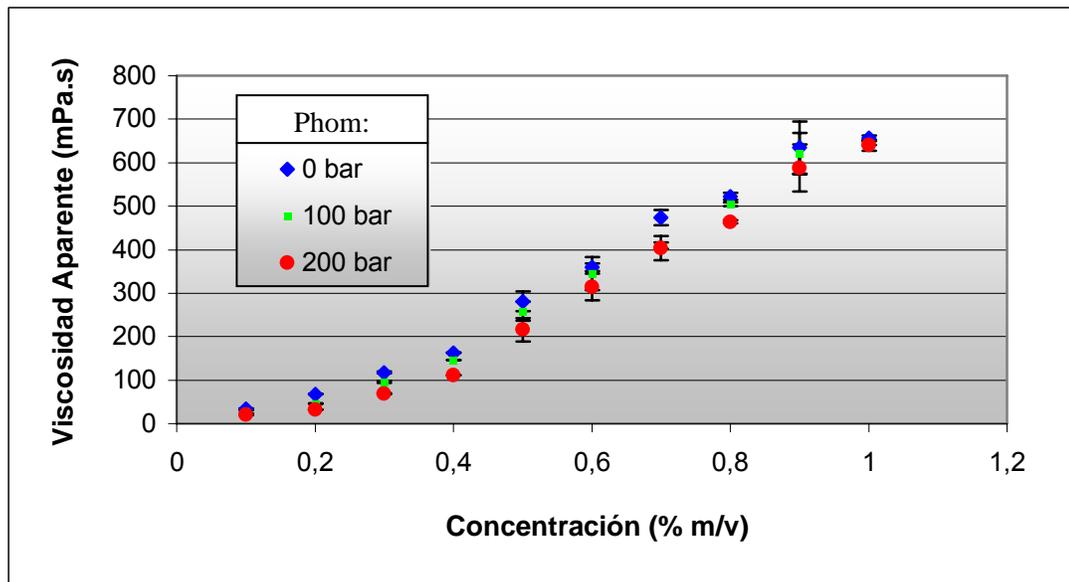


Figura IV.5. Comparación del efecto de la homogenización sobre la viscosidad del modelo alimentario agua-goma xantan, usando el viscosímetro de Brookfield.

Se determinó a través de un análisis de varianza que tanto la concentración de estabilizante como la presión de homogenización tienen un efecto significativo ( $p < 0,05$ ) sobre la viscosidad aparente de todos los modelos agua-goma.

Para el caso de la goma xantan, se muestran los datos (figura IV.5) de las viscosidades obtenidas usando la aguja N° 1 para el rango de concentraciones de 0,1 a 0,4% m/v y la aguja N° 3 para las concentraciones que van desde 0,5 a 1,0% m/v, con una velocidad de deformación de 60 rpm.

Para el modelo alimentario agua-goma C.M.C., se muestran los datos (figura IV.6.) de las viscosidades obtenidas usando la aguja N° 1 para el rango de concentraciones de 0,1 a 0,6% m/v y la aguja N° 2 para las concentraciones que van desde 0,7 a 1,0% m/v, con una velocidad de deformación de 50 rpm.

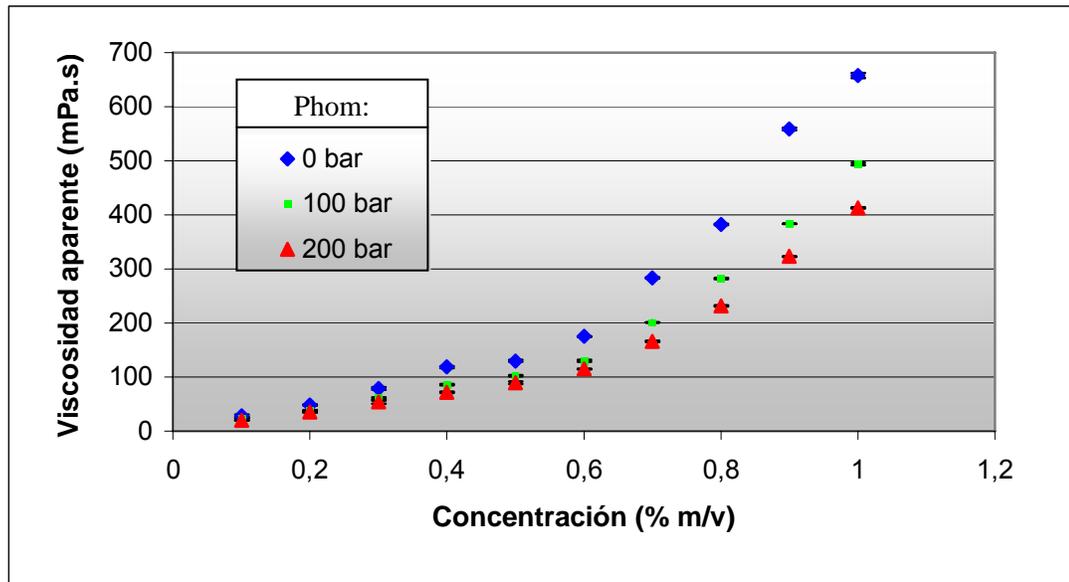


Figura IV.6. Comparación del efecto de la homogenización sobre la viscosidad del modelo alimentario agua-goma C.M.C., usando el viscosímetro de Brookfield.

En el caso del modelo alimentario agua-goma guar los resultados que se muestran corresponden a las viscosidades obtenidas usando la aguja N° 1 para el rango de concentraciones de 0,1 a 0,4% m/v, la aguja N° 2 para las concentraciones que van desde 0,5 a 0,7% m/v y la aguja N° 3 para las concentraciones 0,8 y 0,9% y la aguja N° 4 para 1,0% m/v, a una velocidad de deformación de 100 rpm (figura IV.7.).

Finalmente, para el modelo alimentario agua-goma pectina, se utilizó sólo la aguja N° 1, a una velocidad de deformación de 100 rpm (figura IV.8.).

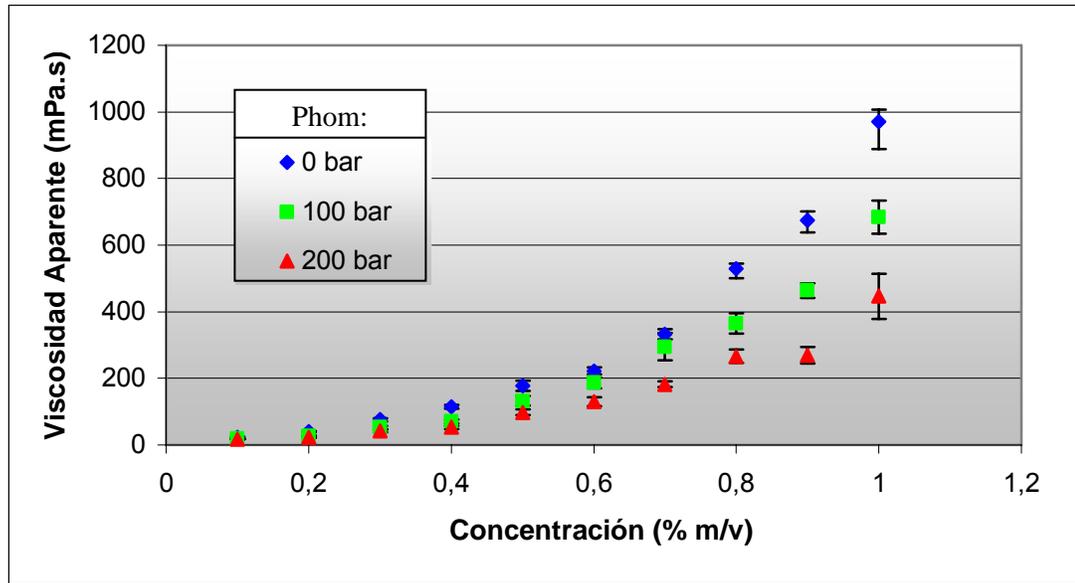


Figura IV.7. Comparación del efecto de la homogenización sobre la viscosidad del modelo alimentario agua-goma guar, usando el viscosímetro de Brookfield.

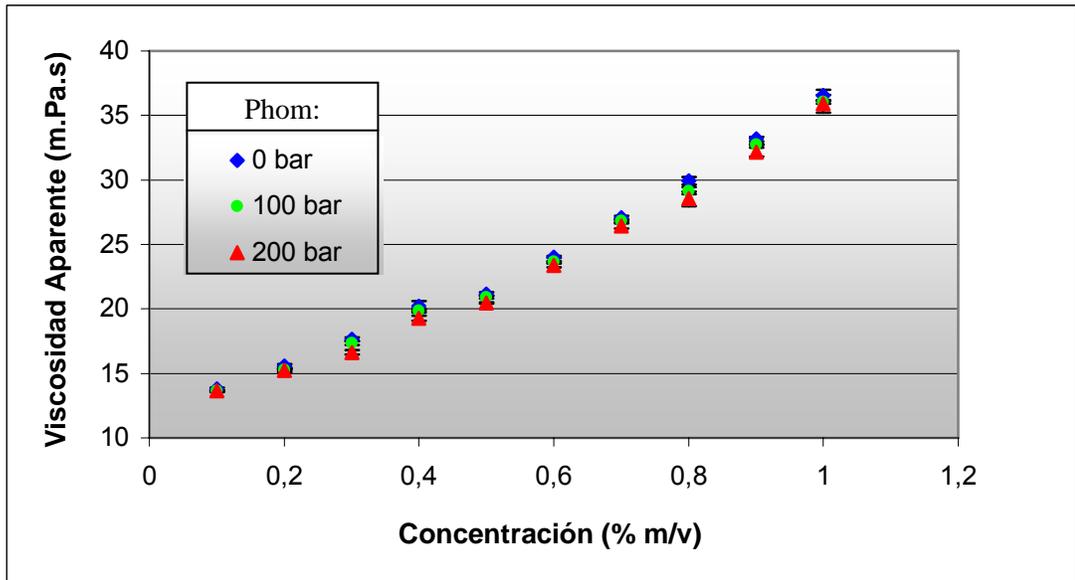


Figura IV.8. Comparación del efecto de la homogenización sobre la viscosidad del modelo alimentario agua-goma pectina, usando el viscosímetro de Brookfield.

#### **IV.1.2.- Medición de los cambios de viscosidad por efectos de homogenización en los néctares de fruta en su fórmula completa a distintas concentraciones de estabilizantes.**

A continuación se presentan los resultados de la medición de los cambios de viscosidad por efectos de homogenización para los néctares de fruta en su fórmula completa. Las concentraciones de estabilizante utilizados fueron de 50, 100, 150, 200, 250 y 300% m/v de la cantidad de estabilizante promedio utilizada en los néctares comerciales.

##### Resultados usando la copa Ford #4:

Antes de mostrar los resultados correspondientes a esta parte del estudio, se expone primero la Tabla IV.1 con los resultados de las mediciones de las viscosidades de los néctares de fruta de 1, 2 y 3 que se realizaron tanto a nivel de laboratorio como a escala industrial, de manera de tener un punto de comparación de estos resultados con los resultados obtenidos durante el estudio del efecto de la homogenización sobre la viscosidad de los néctares en su fórmula completa.

Tabla IV.1: Base de datos de las viscosidades cinemáticas de los néctares de fruta medidos con la copa Ford #4.

<b>Sabor</b>	<b>Laboratorio</b>		<b>Planta</b>	
	<b>Tiempo (s)</b>	<b>Viscosidad (cSt)</b>	<b>Tiempo (s)</b>	<b>Viscosidad (cSt)</b>
<b>1</b>	12,63	31,37	11,45	26,82
<b>2</b>	12,38	30,40	12,21	29,76
<b>3</b>	10,41	22,85	10,07	21,52

El proceso de conversión de unidades de los datos obtenidos fue el mismo que el empleado para los modelos agua-goma. En el apéndice B se encuentran disponibles los tiempos de descarga de las muestras, los resultados de la conversión a unidades de viscosidad cinemática (cSt) y las densidades de cada muestra.

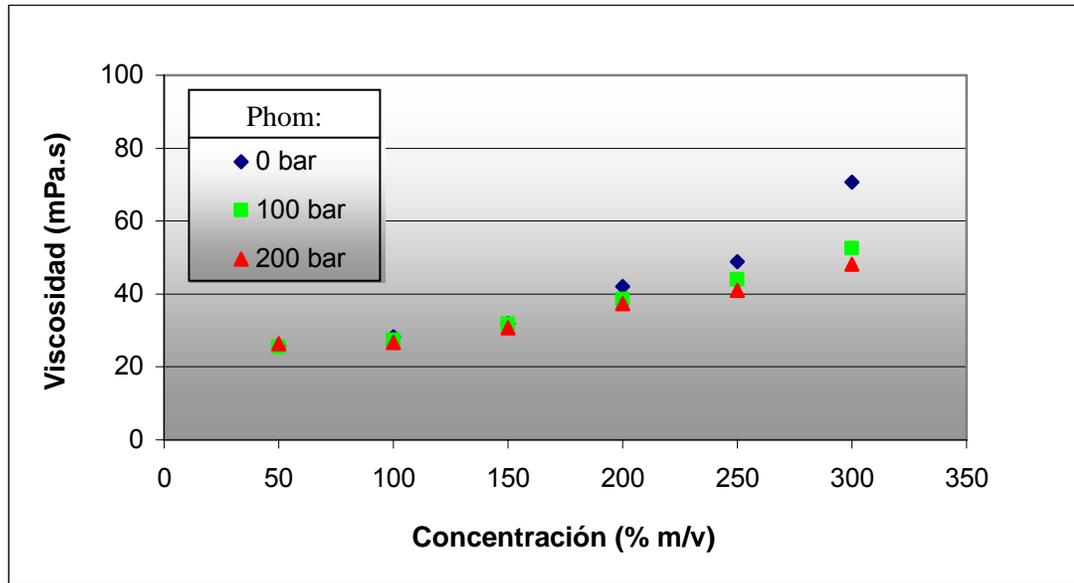


Figura IV.9. Comparación del efecto de la homogenización sobre la viscosidad del néctar 1, usando la copa Ford #4.

Para el caso del néctar 1 (figura IV.9), al aumentar la presión de homogenización, disminuye la viscosidad dinámica de la muestra para cada una de las concentraciones; también se observa que al aumentar la concentración del estabilizante *A* hay un aumento en la viscosidad dinámica de dicha muestra, lo cual indica un comportamiento similar al de los modelos agua-goma. A través de un análisis de varianza se determinó estadísticamente que tanto la concentración de estabilizante como la presión de homogenización tienen un efecto significativo ( $p < 0,05$ ) sobre la viscosidad de las muestras en estudio. Esto indica que para el caso del néctar de fruta 1 el resto de los ingredientes que conforman el producto, aparte de los estabilizantes, no parecieran tener un efecto en el comportamiento de la viscosidad de los mismos.

Para el néctar de fruta 2, el análisis estadístico determinó un efecto significativo ( $p < 0,05$ ) de la presión de homogenización sobre la viscosidad del néctar para cada concentración de estabilizante *B*. Pero en este caso el efecto de la homogenización sobre la viscosidad dinámica de las muestras es contrario al del néctar de fruta 1 y los modelos de agua-goma, ya que como se puede observar en la figura IV.10 la viscosidad dinámica de la muestra aumenta al aumentar la presión de homogenización para las distintas concentraciones de estabilizantes. Lo que pudiese

indicar que existe un efecto importante por parte de uno o varios de los ingredientes que conforman el néctar sobre la viscosidad dinámica de las muestras luego de ser homogenizadas en comparación a los modelos agua-goma estudiados.

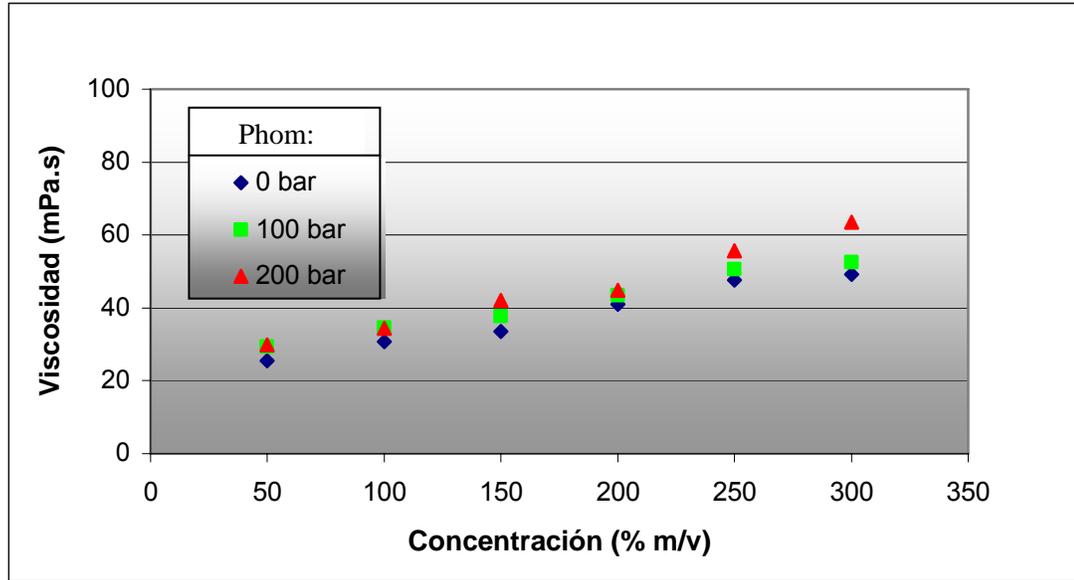


Figura IV.10. Comparación del efecto de la homogenización sobre la viscosidad del néctar 2, usando la copa Ford #4.

Finalmente se tiene el néctar 3 (ver figura IV.11), donde el efecto de la presión de homogenización sobre la viscosidad dinámica del néctar de fruta 3 a diferentes concentraciones no es muy claro, ya que para las concentraciones 50 a 150% m/v de concentración del estabilizante  $C$  de la fórmula original el análisis estadístico demuestra un efecto significativo ( $p < 0,05$ ) de la presión de homogenización sobre la viscosidad dinámica, con un aumento de dicho parámetro al aumentar la presión de homogenización. Sin embargo, para la concentración de 200 y 300% la viscosidad dinámica del producto no homogenizado es mayor que la de las muestras homogenizadas y el análisis estadístico sólo señala una diferencia significativa entre el producto homogenizado a 100 y 200 bar y el producto sin homogenizar, pero no indica diferencias ( $p > 0,05$ ) entre los productos homogenizados. Para 250% de la concentración original de  $C$  estadísticamente las tres muestras son iguales ( $p > 0,05$ ). Esto se puede deber al hecho de que las viscosidades del néctar de fruta 3 a las

diferentes concentraciones son bastante bajas y la copa Ford no es el instrumento más indicado para realizar dichas mediciones.

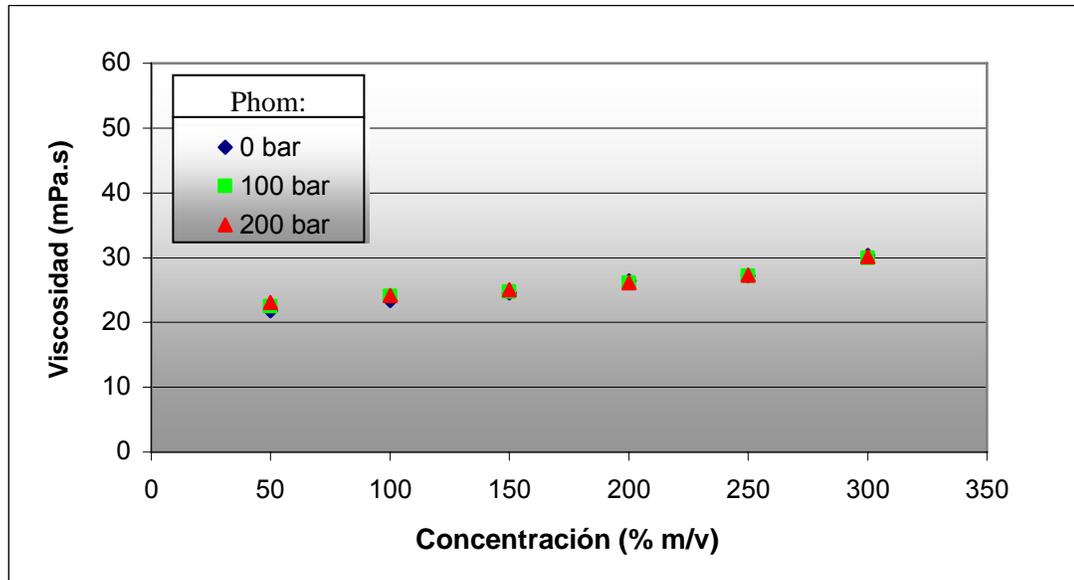


Figura IV.11. Comparación del efecto de la homogenización sobre la viscosidad del néctar 3, usando la copa Ford #4.

Resultados usando el viscosímetro de Brookfield:

Se determinó para el néctar de fruta 1 (ver figura IV.12) que al disminuir la presión de homogenización la viscosidad aparente disminuye para cada una de las concentraciones de estabilizante *A*, lo cual confirma los resultados que se obtuvieron con la copa Ford #4. Además, se determinó a través de un análisis de varianza que hay una diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) entre el producto homogenizado y el no homogenizado; sin embargo, para concentraciones entre 50 y 200% m/v no se encontraron diferencias estadísticas ( $p > 0,05$ ) entre las presiones de homogenización de 100 y 200 bar, mientras que para 250 y 300% m/v de *A* si hay un efecto significativo entre las presiones de homogenización.

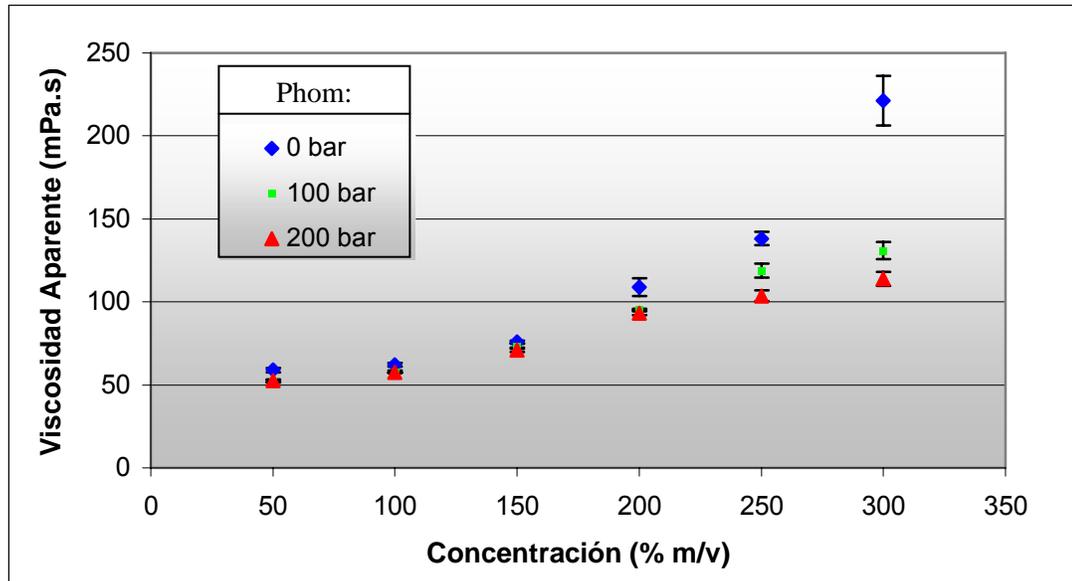


Figura IV.12. Comparación del efecto de la homogenización sobre la viscosidad del néctar 1, usando el viscosímetro de Brookfield.

El efecto de la homogenización en el néctar de fruta 2 (ver figura IV.13) para las diferentes concentraciones del estabilizante *B* fue inverso al del néctar de fruta 1, tal como se observó con la copa Ford, ya que la viscosidad aparente disminuye al disminuir la presión de homogenización. El análisis de varianza señaló que la presión de homogenización tienen un efecto significativo ( $p < 0,05$ ) sobre la viscosidad aparente del néctar de fruta 2 en las distintas concentraciones de estabilizante.

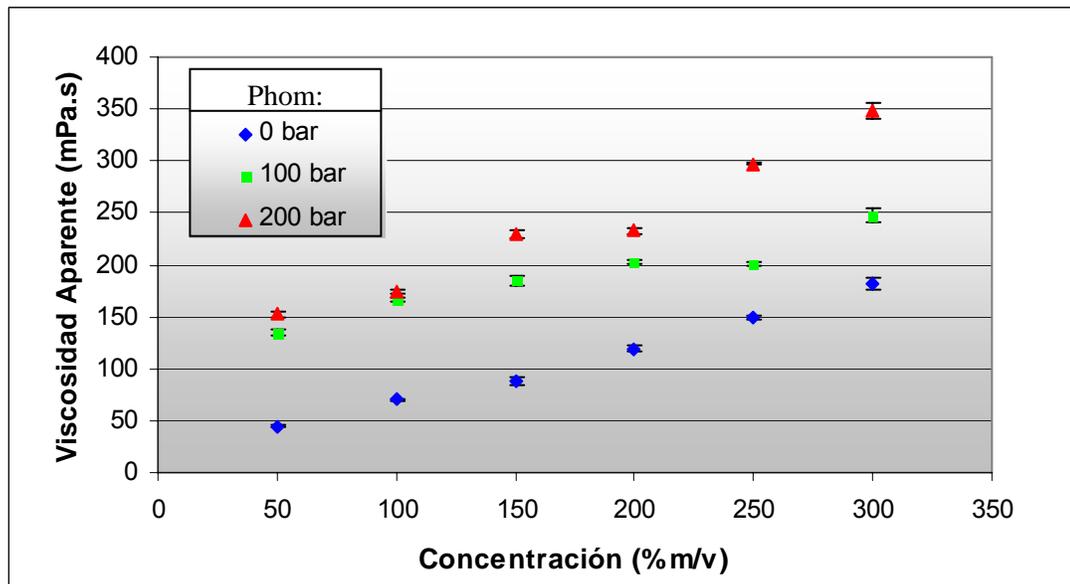


Figura IV.13. Comparación del efecto de la homogenización sobre la viscosidad del néctar 2, usando el viscosímetro de Brookfield.

Con respecto al néctar de fruta 3, el comportamiento de la viscosidad aparente a las diferentes presiones de homogenización es totalmente atípico a los comportamientos anteriores (ver figura IV.14). Ya que se observan cambios en la tendencia de la viscosidad aparente respecto a la presión de homogenización; por lo tanto, se puede concluir que no hay un efecto significativo de la presión sobre la viscosidad aparente.

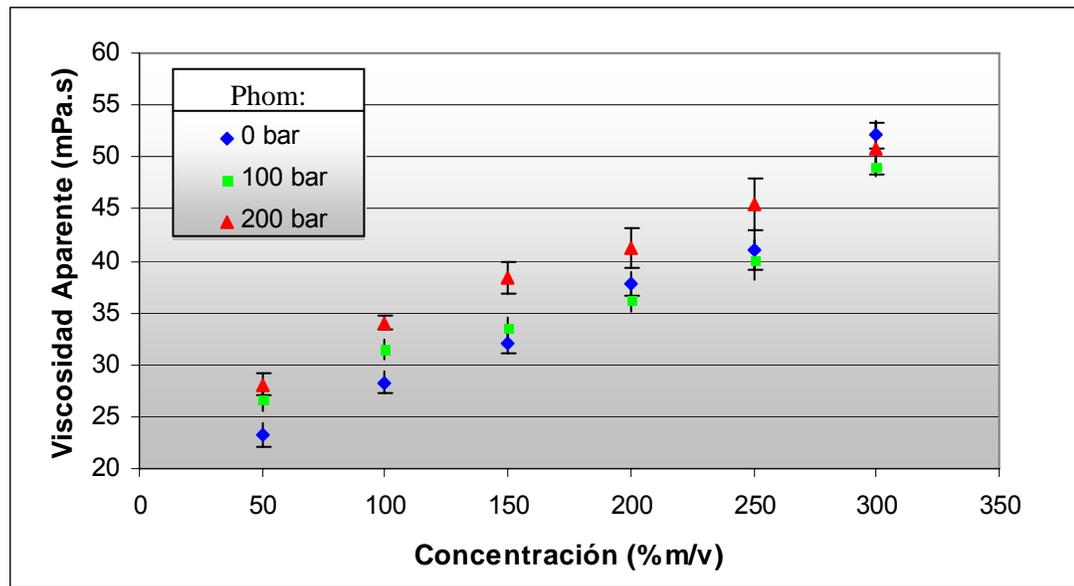


Figura IV.14. Comparación del efecto de la homogenización sobre la viscosidad del néctar 3, usando el viscosímetro de Brookfield.

## IV.2.- Estudio reológico.

En seguida se presentan los resultados del estudio reológico realizado, tanto a los modelos agua-goma como para los néctares de fruta, a las diferentes concentraciones de estabilizantes.

### IV.2.1.- Estudio reológicos de los modelos agua-goma.

Se determinó que el comportamiento reológico de los modelos agua-C.M.C, agua-goma guar y agua-pectina responden a la Ley de potencia (Ec. 1), ya que después de realizar la linealización logarítmica de los datos experimentales, se realizó un ajuste de los mismos usando el método de los mínimos cuadrados obteniéndose valores de  $R^2$  por encima de 0,95 para el C.M.C.,  $R^2 > 0,91$  para la goma guar y  $R^2 > 0,99$  para la pectina, a las diferentes temperaturas y presiones de homogenización, lo que indica la aplicabilidad del modelo para determinar los parámetros reológicos  $k$  y  $n$  correspondientes a estos estabilizantes.

Para el caso del modelo agua-goma xantan se determinó un comportamiento que varió entre dilatante o pseudoplástico, y viscoplástico o plástico de Bingham, dependiendo de la concentración, la temperatura y la presión de homogenización

aplicada a la muestra; por lo tanto, se realizó el ajuste de los datos experimentales a la Ley de Potencia para determinar los parámetros  $n$  y  $k$ , para todo el rango de concentraciones, y se realizó un ajuste al modelo de plástico de Bingham (los ajustes están disponibles en el apéndice B) para obtener los esfuerzos de cedencia y así determinar en que rango de concentraciones el comportamiento es viscoplástico o plástico de Bingham.

Para observar mejor los resultados, se muestran a continuación los ajustes realizados para algunas de las concentraciones de estabilizante para cada una de las temperaturas (figuras IV.15 a IV.26). El resto de las gráficas se encuentran disponibles en el apéndice B.

*Para  $T= 20^{\circ}C$*

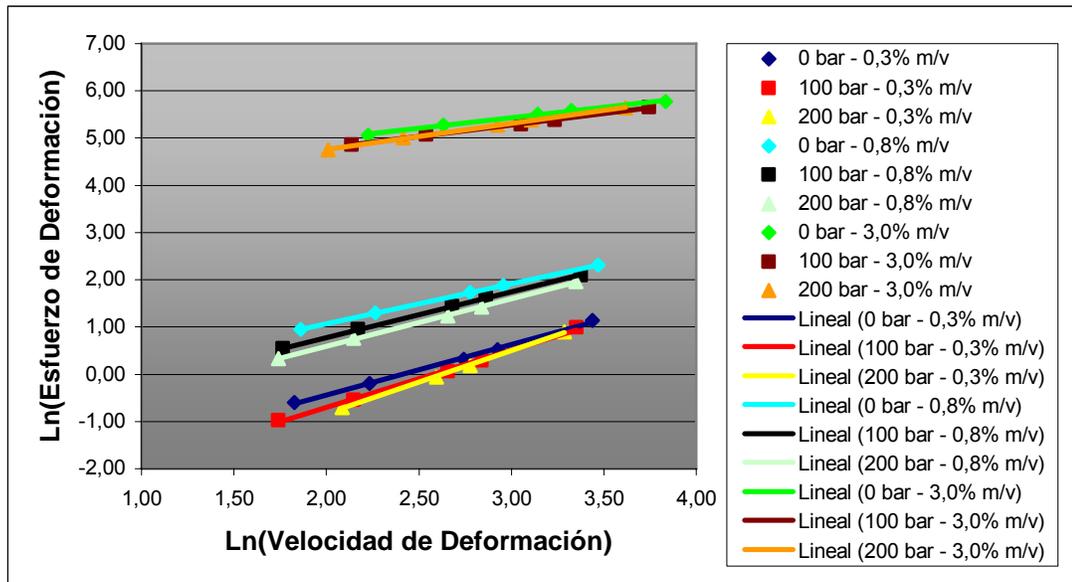


Figura IV.15. Ajustes de los datos experimentales del modelo agua-C.M.C. a la Ley de potencia a 20°C para la determinación de los parámetros reológicos.

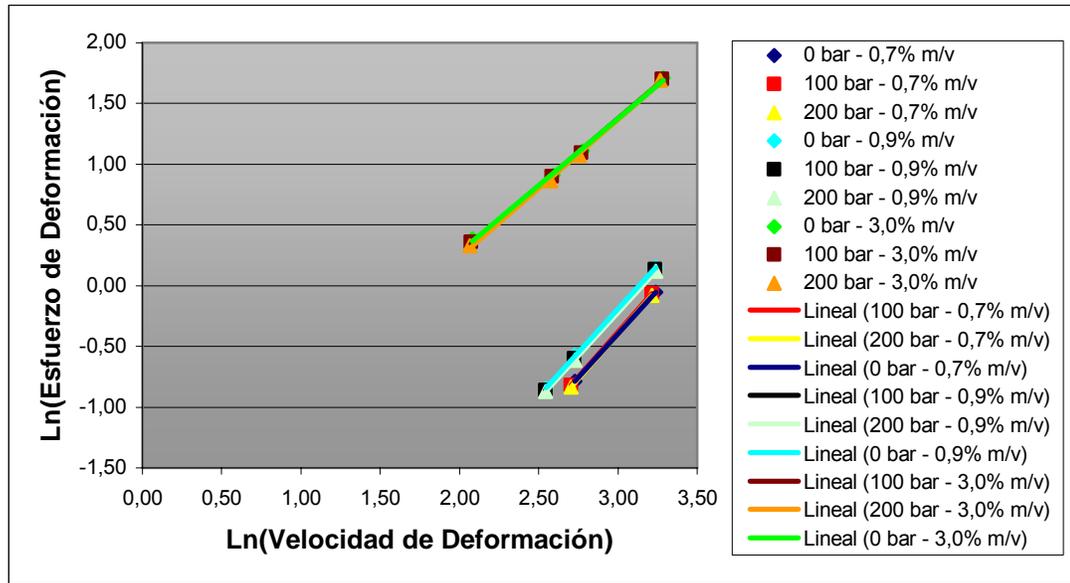


Figura IV.16. Ajustes de los datos experimentales del modelo agua-pectina a la Ley de potencia a 20°C para la determinación de los parámetros reológicos.

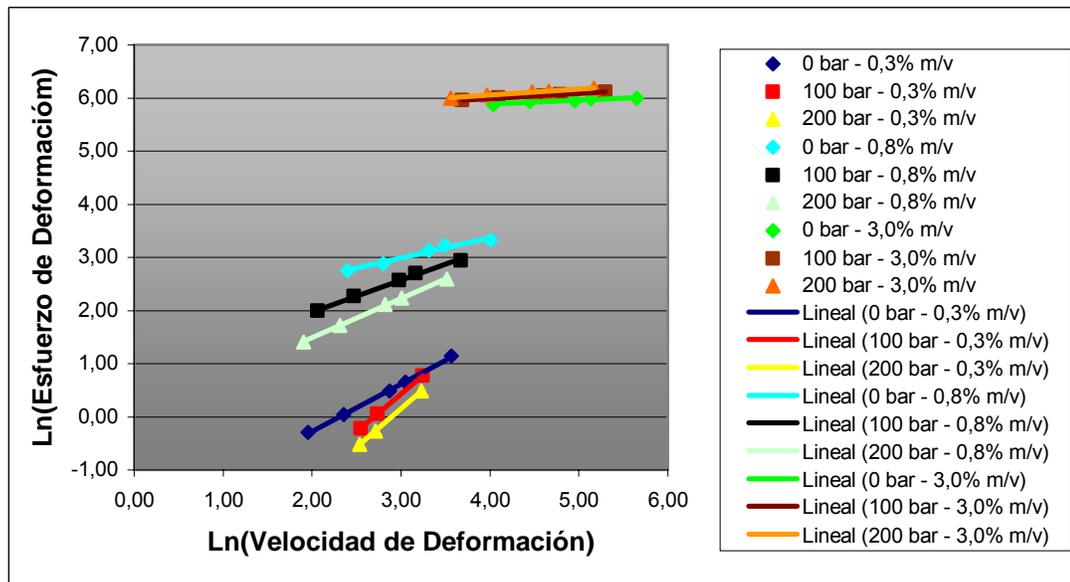


Figura IV.17. Ajustes de los datos experimentales del modelo agua-goma guar a la Ley de potencia a 20°C para la determinación de los parámetros reológicos.

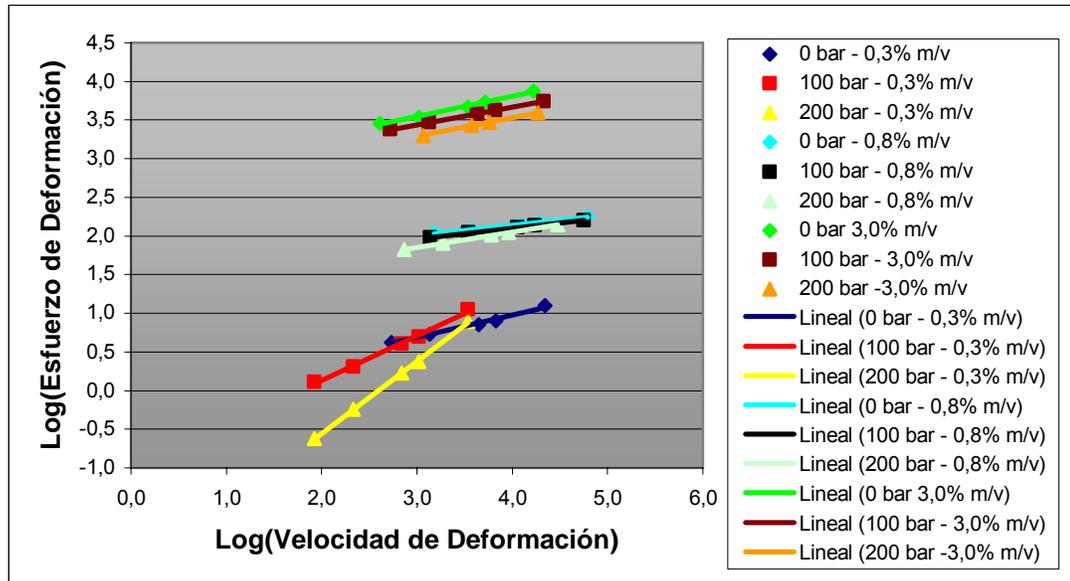


Figura IV.18. Ajustes de los datos experimentales del modelo agua-goma xantana a la Ley de potencia a 20°C para la determinación de los parámetros reológicos.

*Para T= 65°C*

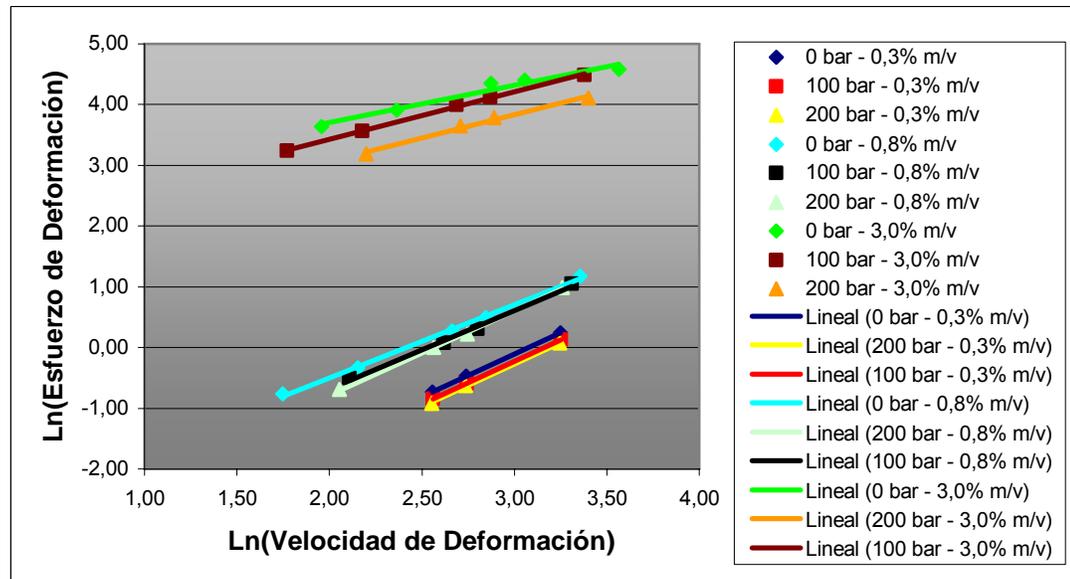


Figura IV.19. Ajustes de los datos experimentales del modelo agua-C.M.C. a la Ley de potencia a 65°C para la determinación de los parámetros reológicos.

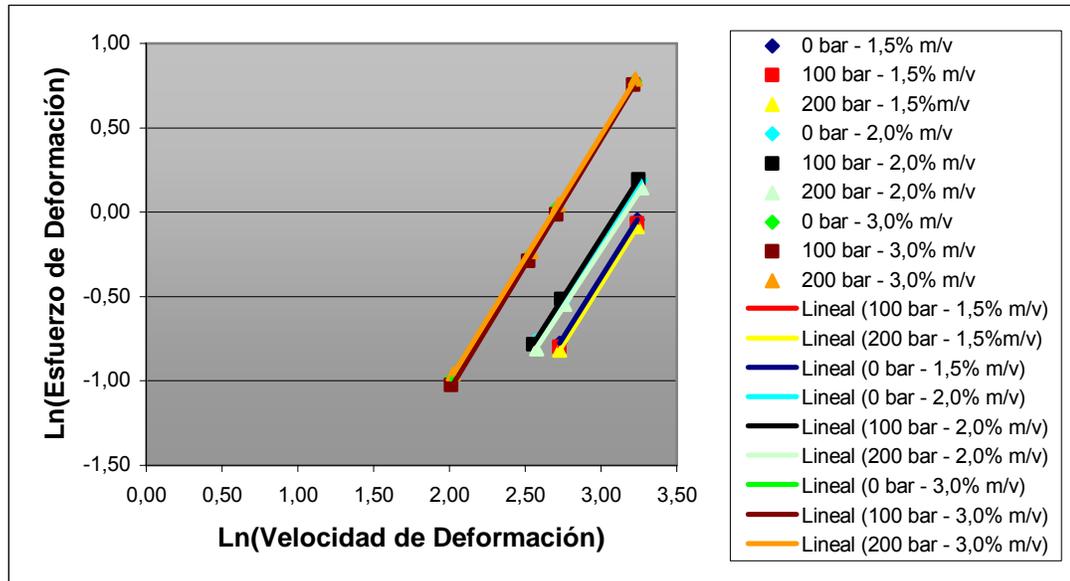


Figura IV.20. Ajustes de los datos experimentales del modelo agua-pectina a la Ley de potencia a 65°C para la determinación de los parámetros reológicos.

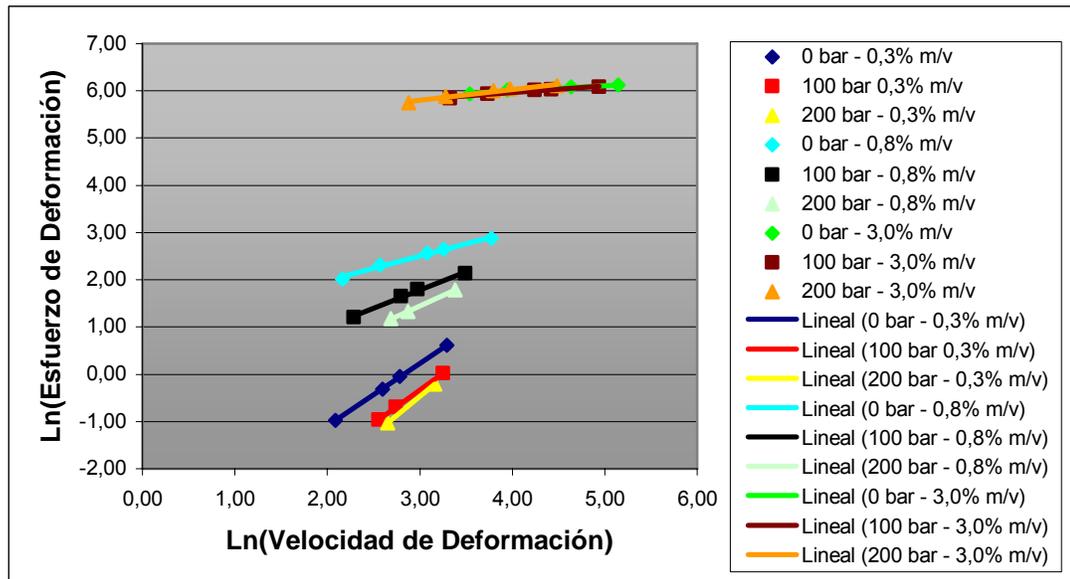


Figura IV.21. Ajustes de los datos experimentales del modelo agua-goma guar a la Ley de potencia a 65°C para la determinación de los parámetros reológicos.

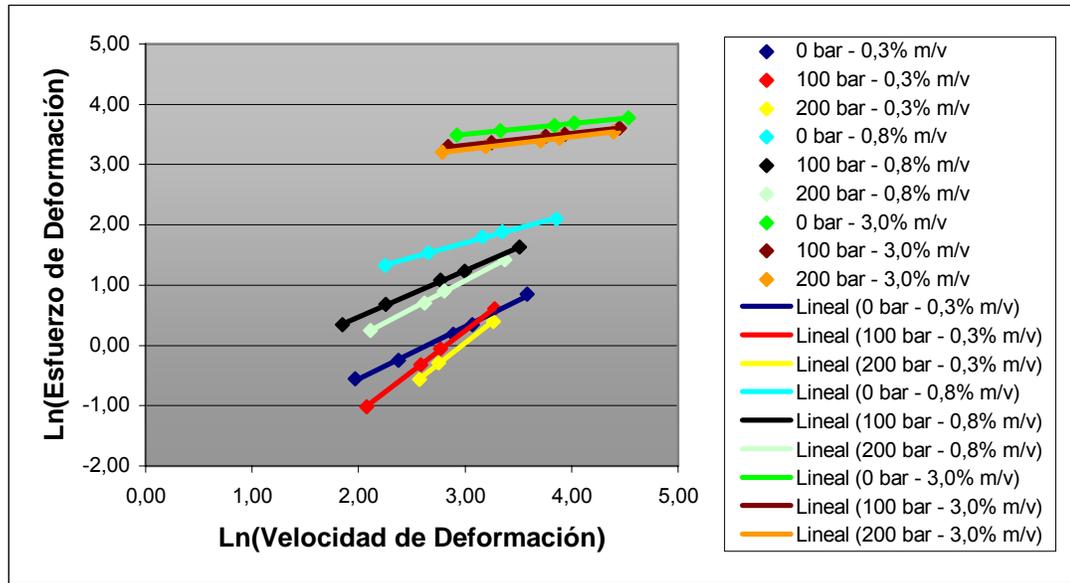


Figura IV.22. Ajustes de los datos experimentales del modelo agua-goma xantán a la Ley de potencia a 65°C para la determinación de los parámetros reológicos.

*Para  $T= 90^{\circ}C$*

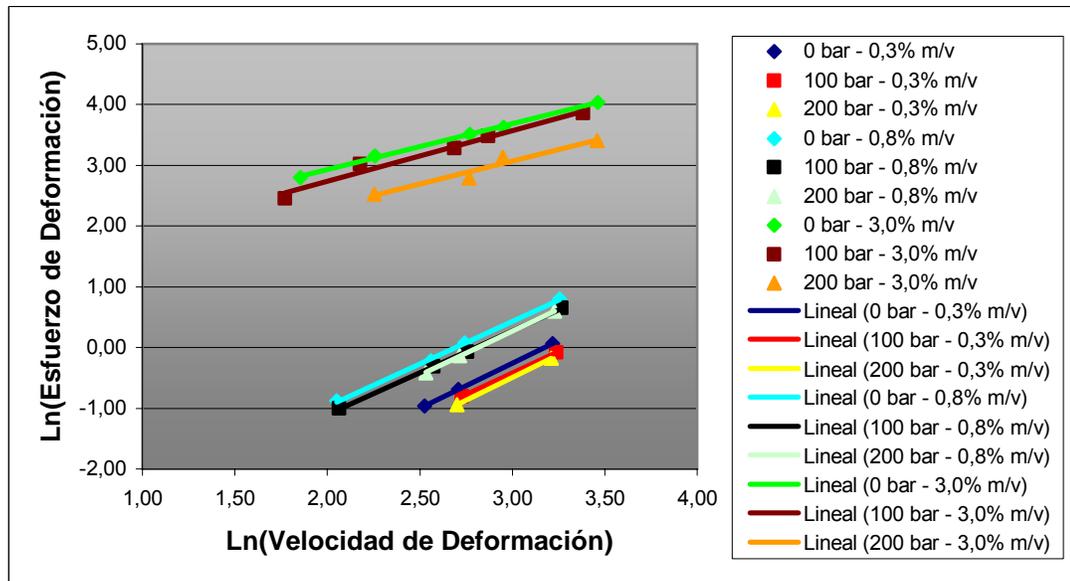


Figura IV.23. Ajustes de los datos experimentales del modelo agua-C.M.C. a la Ley de potencia a 90°C para la determinación de los parámetros reológicos.

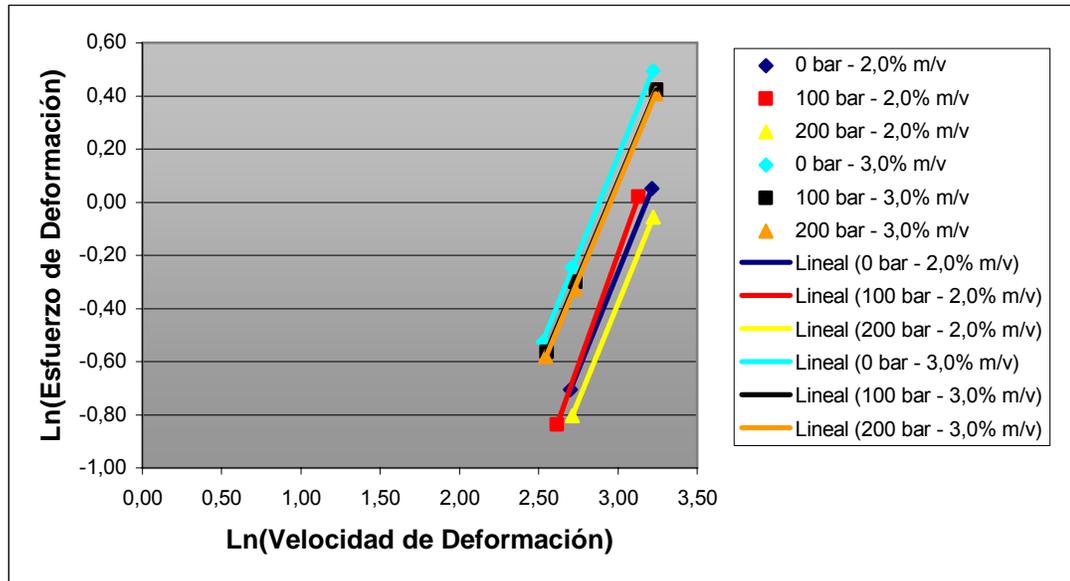


Figura IV.24. Ajustes de los datos experimentales del modelo agua-pectina a la Ley de potencia a 90°C para la determinación de los parámetros reológicos.

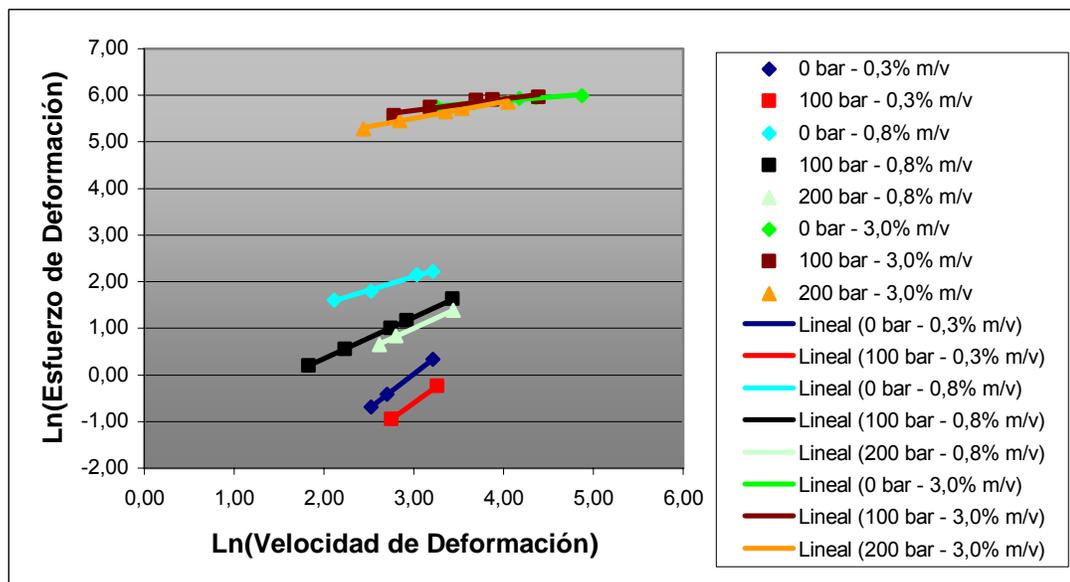


Figura IV.25. Ajustes de los datos experimentales del modelo agua-goma guar a la Ley de potencia a 90°C para la determinación de los parámetros reológicos.

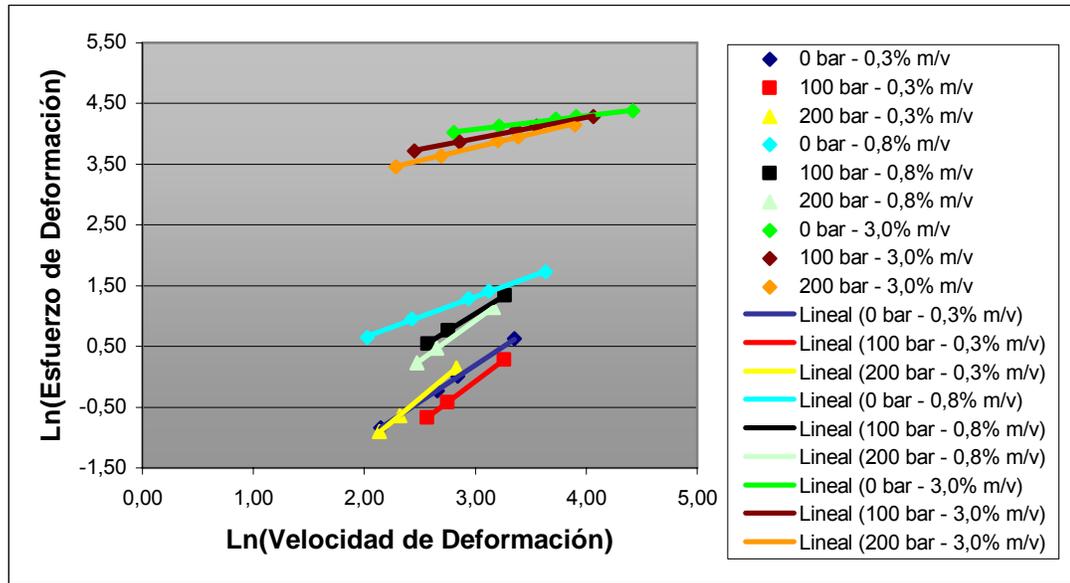


Figura IV.26. Ajustes de los datos experimentales del modelo agua-goma xantán a la Ley de potencia a 90°C para la determinación de los parámetros reológicos.

A partir de los parámetros reológicos obtenidos de los ajustes, se observó para todos los modelos agua-estabilizante, un aumento en el valor del índice de consistencia  $k$  al aumentar la concentración de estabilizante, lo cual se esperaba, ya que el estabilizante aumenta la consistencia del fluido al que se agrega. Asimismo, se obtuvo una disminución del valor de  $k$  al aumentar la presión de homogenización, lo cual indica que la disminución del tamaño y mejor distribución de las partículas sólidas que forman parte de la solución permiten una mayor dispersión de las mismas y, por ende, una disminución en la consistencia del néctar (APV, s.f.); con la excepción del modelo agua-pectina donde no se observó un efecto de la presión sobre  $k$ .

Para el caso del índice de comportamiento al flujo  $n$ , se determinó que el mismo disminuye al aumentar la concentración de estabilizante para las presiones de homogenización estudiadas y su valor aumenta con el aumento de la presión de homogenización, a excepción del modelo agua-pectina donde no se observó un efecto de la presión sobre  $n$ . Como un ejemplo, para facilitar la comparación de estos resultados se presenta la Tabla IV.2 con un resumen de los parámetros reológicos correspondientes al modelo agua-C.M.C. a 20°C. Las tablas correspondientes a los otros modelos se encuentran disponibles en el apéndice B.

Tabla IV.2: Tabla comparativa del efecto de la presión de homogenización sobre  $k$  y  $n$  para el modelo agua-C.M.C. a 20 °C.

$C_{est}$ % m/v	Phom: 0 bar			Phom: 100 bar			Phom: 200 bar		
	$n$ (adim)	$k$ (Pa.s <sup>n</sup> )	$R^2$	$n$	$k$ (Pa.s <sup>n</sup> )	$R^2$	$n$ (adim)	$k$ (Pa.s <sup>n</sup> )	$R^2$
0,1	1,328	0,016	0,999	1,373	0,012	0,999	1,411	0,009	0,999
0,2	1,331	0,027	0,999	1,476	0,016	0,999	1,437	0,016	0,999
0,3	1,159	0,066	0,999	1,215	0,044	0,997	1,332	0,030	0,999
0,4	1,058	0,114	0,999	1,230	0,060	0,999	1,310	0,045	0,999
0,5	1,047	0,131	0,999	1,124	0,091	0,999	1,171	0,073	0,999
0,6	0,973	0,200	0,999	1,122	0,110	0,999	1,177	0,090	0,999
0,7	0,884	0,377	0,999	0,991	0,218	0,999	1,024	0,167	0,999
0,8	0,833	0,559	0,999	0,931	0,339	0,999	0,974	0,256	0,999
0,9	0,782	0,918	0,999	0,917	0,467	0,999	0,943	0,373	0,999
1,0	0,780	1,069	0,999	0,865	0,676	0,999	0,876	0,569	0,999
1,5	0,670	4,617	0,998	0,783	2,887	0,998	0,848	2,066	0,999
2,0	0,618	12,614	0,998	0,670	8,541	0,998	0,739	6,644	0,998
3,0	0,452	63,249	0,997	0,437	52,240	0,980	0,543	37,887	0,971

A partir del valor de  $n$  se determinó el comportamiento reológico de cada muestra, ya sea con un comportamiento dilatante ( $n > 1$ ) o pseudoplástico ( $0 < n < 1$ ). A continuación se muestran las Tablas IV.3 a IV.14 con los resultados obtenidos de los comportamientos reológicos de cada modelo agua-estabilizante a las diferentes presiones de homogenización.

Tabla IV.3: Comportamiento reológico del modelo agua-C.M.C para los diferentes rangos de concentración de estabilizante (% m/v).

Comportamiento Reológico	Temp: 20°C			Temp: 65°C			Temp: 90°C		
	Phom (bar)			Phom (bar)			Phom (bar)		
	0	100	200	0	100	200	0	100	200
Dilatante ( $n > 1$ )	0,1-0,3	0,1-0,6	0,1-0,7	0,2-1,0	0,2-1,0	0,3-1,5	0,2-1,0	0,3-1,5	0,3-1,5
Newtoniano ( $n = 1$ )	0,4-0,6	0,7	0,7-0,9	1,5	1,5	1,5	1,5	2,0	2,0
Pseudoplástico ( $0 < n < 1$ )	0,7-3,0	0,7-3,0	1,0-3,0	2,0-3,0	2,0-3,0	2,0-3,0	2,0-3,0	3,0	3,0

Tabla IV.4: Comportamiento reológico del modelo agua-pectina para los diferentes rangos de concentración de estabilizante (% m/v).

Comportamiento Reológico	Temp: 20°C			Temp: 65°C			Temp: 90°C		
	Phom (bar)			Phom (bar)			Phom (bar)		
	0	100	200	0	100	200	0	100	200
<b>Dilatante (<math>n &gt; 1</math>)</b>	0,5-2,0	0,6-2,0	0,6-2,0	1,5-3,0	1,5-3,0	1,5-3,0	2,0-3,0	2,0-3,0	2,0-3,0
<b>Newtoniano (<math>n = 1</math>)</b>	3,0	3,0	3,0	-	-	-	-	-	-

Tabla IV.5: Comportamiento reológico del modelo agua-goma guar para los diferentes rangos de concentración de estabilizante (% m/v).

Comportamiento Reológico	Temp: 20°C			Temp: 65°C			Temp: 90°C		
	Phom (bar)			Phom (bar)			Phom (bar)		
	0	100	200	0	100	200	0	100	200
<b>Dilatante (<math>n &gt; 1</math>)</b>	0,1-0,2	0,2-0,4	0,2-0,4	0,2-0,3	0,3-0,6	0,3-0,7	0,3-0,4	0,3-0,6	0,4-0,7
<b>Newtoniano (<math>n = 1</math>)</b>	0,3	-	0,5	-	0,7	0,7	-	0,7	0,8-0,9
<b>Pseudoplástico (<math>0 &lt; n &lt; 1</math>)</b>	0,4-3,0	0,5-3,0	0,6-3,0	0,4-3,0	0,8-3,0	0,8-3,0	0,5-3,0	0,8-3,0	1,0-3,0

Tabla IV.6: Comportamiento reológico del modelo agua-goma xantan para los diferentes rangos de concentración de estabilizante (% m/v).

Comportamiento Reológico	Temp: 20°C			Temp: 65°C			Temp: 90°C		
	Phom (bar)			Phom (bar)			Phom (bar)		
	0	100	200	0	100	200	0	100	200y
<b>Dilatante (<math>n &gt; 1</math>)</b>	-	0,1-0,2	0,1-0,2	0,1-0,2	0,2-0,5	0,2-0,6	0,1-0,5	0,2-0,7	0,3-0,9
<b>Newtoniano (<math>n = 1</math>)</b>	0,1	-	-	0,3	-	-	0,4	0,6 y 0,8	1,0

Estos resultados demuestran un efecto tanto de la concentración de estabilizante como de la presión de homogenización sobre los parámetros reológicos  $n$  y  $k$ , para la mayoría de los modelos a las diferentes temperaturas, excepto para el modelo agua-pectina donde no se apreció un efecto de la presión sobre dichos parámetros.

En algunos casos, para las concentraciones bajas no se obtuvieron suficientes datos experimentales, lo que hizo imposible determinar los parámetros reológicos a estas concentraciones; esto fue más evidente para el modelo agua-pectina donde no se pudo

determinar  $n$  y  $k$  para un rango importante de concentraciones en especial para los casos a 65 y 90°C.

Con respecto al modelo agua-goma xantan (Tabla IV.6) se observó que a partir de ciertas concentraciones de estabilizante el comportamiento deja de responder a la Ley de Potencia únicamente y aparece el esfuerzo de cedencia indicando un comportamiento plástico. La Tabla IV.7 muestra los valores de esfuerzo de cedencia para el modelo agua-goma xantan a 20°C.

Tabla IV.7: Tabla comparativa del efecto de la presión de homogenización sobre  $\tau_0$  para el modelo agua-goma xantan a 20 °C.

$C_{est}$ % m/v	Phom: 0 bar		Phom: 100 bar		Phom: 200 bar	
	$\tau_0$ (mPa)	R <sup>2</sup>	$\tau_0$ (mPa)	R <sup>2</sup>	$T_0$ (mPa)	R <sup>2</sup>
0,2	0,715	0,999	-	-	-	-
0,3	1,696	0,982	0,753	0,998	0,063	0,999
0,4	2,536	0,966	1,498	0,977	0,647	0,997
0,5	3,578	0,969	2,829	0,955	2,117	0,979
0,6	4,943	0,963	4,256	0,951	3,311	0,943
0,7	6,804	0,967	5,300	0,950	4,887	0,952
0,8	7,459	0,944	7,065	0,936	5,862	0,961
0,9	8,731	0,951	8,468	0,931	7,637	0,937
1,0	9,102	0,970	9,353	0,954	9,223	0,944
1,5	12,266	0,961	11,353	0,950	11,127	0,962
2,0	16,721	0,966	15,575	0,947	15,458	0,941
3,0	30,879	0,941	27,009	0,960	23,019	0,958

En este caso  $\tau_0$  tiene un comportamiento similar al índice de consistencia, ya que su valor aumenta con la concentración de estabilizante, para todas las presiones de homogenización y disminuye al aumentar la presión de homogenización.

#### Efecto de la temperatura:

Para observar el efecto de la temperatura sobre los valores de  $k$ ,  $n$  y  $\tau_0$ , se presentan las Tablas IV.8 y IV.9, para las muestras sin homogenizar de los modelos agua-goma guar y agua-goma xantan, respectivamente. El resto de las tablas con el efecto de la

temperatura sobre los parámetros reológicos se encuentran disponibles en el apéndice B.

Tabla IV.8: Tabla comparativa del efecto de la temperatura sobre  $k$  y  $n$  para el modelo agua-goma guar del producto no homogenizado.

$C_{est}$ % m/v	Temp: 20°C		Temp: 65°C		Temp: 90°C	
	$n$ (adim)	$k$ (Pa.s <sup>n</sup> )	$n$ (adim)	$k$ (Pa.s <sup>n</sup> )	$n$ (adim)	$k$ (Pa.s <sup>n</sup> )
0,1	1,439	0,008	-	-	-	-
0,2	1,296	0,021	1,392	0,008	-	-
0,3	0,940	0,116	1,325	0,024	1,479	0,012
0,4	0,685	0,719	0,896	0,144	1,160	0,044
0,5	0,490	1,305	0,728	0,345	0,821	0,201
0,6	0,439	2,596	0,665	0,697	0,767	0,345
0,7	0,377	4,659	0,570	1,371	0,642	0,877
0,8	0,358	6,817	0,526	2,576	0,586	1,490
0,9	0,296	11,026	0,457	4,108	0,557	2,223
1,0	0,245	17,742	0,411	6,933	0,477	4,405
1,5	0,147	55,112	0,266	28,943	0,346	18,962
2,0	0,078	127,785	0,167	86,288	0,251	61,888
3,0	0,068	274,431	0,114	254,831	0,152	194,825

Tabla IV.9: Tabla comparativa del efecto de la temperatura sobre  $k$ ,  $n$  y  $\tau_0$  para el modelo agua-goma xantán sin homogenizar.

$C_{est}$ % m/v	Temp: 20°C			Temp: 65°C			Temp: 90°C		
	$n$ (adim)	$k$ (Pa.s <sup>n</sup> )	$\tau_0$ (mPa)	$n$ (adim)	$k$ (Pa.s <sup>n</sup> )	$\tau_0$ (mPa)	$n$ (adim)	$k$ (Pa.s <sup>n</sup> )	$\tau_0$ (mPa)
0,1	1,017	0,035	-	1,330	0,012	-	1,415	0,007	-
0,2	0,471	0,284	0,715	1,221	0,028	-	1,693	0,006	-
0,3	0,265	0,572	1,696	0,936	0,088	0,053	1,213	0,032	-
0,4	0,203	1,533	2,536	0,596	0,319	0,853	0,987	0,065	-
0,5	0,193	2,290	3,578	0,592	0,461	1,056	1,105	0,063	-
0,6	0,134	3,365	4,943	0,537	0,676	1,310	0,732	0,230	0,456
0,7	0,116	4,803	6,804	0,684	0,371	1,881	0,687	0,368	0,900
0,8	0,116	5,271	7,459	0,477	1,214	3,084	0,672	0,502	1,156
0,9	0,125	6,048	8,731	0,382	1,815	4,122	0,682	0,555	1,197
1,0	0,149	5,995	9,102	0,604	0,962	4,788	0,613	0,935	2,585
1,5	0,210	7,207	12,266	0,160	13,668	21,140	0,476	3,564	8,455
2,0	0,230	9,509	16,721	0,176	13,686	21,066	0,365	9,737	20,507
3,0	0,216	18,120	30,879	0,172	20,192	32,091	0,232	29,881	53,091

El efecto de la temperatura sobre los parámetros reológicos de las muestras es similar al efecto que tiene la homogenización, obteniéndose un aumento del índice de comportamiento al flujo  $n$  al aumentar la temperatura (Tablas IV.8 y IV.9), y una disminución del valor de  $k$  y de  $\tau_0$  (Tabla IV.9) para el mismo caso, como consecuencia de una mayor dispersión de las partículas de los sólidos disueltos en la solución y de las moléculas que conforman la fase líquida del néctar debido al aumento de la temperatura (Briceño, 2000). Las únicas excepciones fueron el comportamiento de  $n$  para el modelo agua-pectina donde no se observó un efecto significativo de la temperatura y el comportamiento de todos los parámetros reológicos del modelo agua-goma xantan a partir de la concentración de 1,5% m/v de estabilizante, cuyo comportamiento puede estar relacionado con el fenómeno de gelatinización, que sucede en especial para las suspensiones del almidón, donde al ser calentada los gránulos se expanden y se superponen uno sobre otros, incrementándose la viscosidad de la solución.

Para explicar la dependencia de los parámetros reológicos con la temperatura se utilizó la ecuación de Arrhenius (Ec. 3) donde se realizó el ajuste de los valores de  $n$ ,  $k$  y  $\tau_0$  a dicha ecuación mediante la regresión lineal simple. Los ajustes para el índice de consistencia presentaron valores del coeficiente de regresión mayores a 0,93 para el modelo agua-C.M.C.,  $R^2 > 0,94$  para el modelo agua-goma guar,  $R^2 > 0,91$  para el modelo agua-goma pectina y  $R^2 > 0,85$  para el modelo agua-goma xantan; para el índice de comportamiento al flujo los coeficientes de regresión fueron mayores a 0,84 para el modelo agua-C.M.C.,  $R^2 > 0,93$  para el modelo agua-goma guar,  $R^2 > 0,84$  para el modelo agua-goma pectina y  $R^2 > 0,86$  para el modelo agua-goma xantan y finalmente, para el esfuerzo de cedencia los valores del coeficiente de regresión fueron mayores a 0,80. Sin embargo se observaron varios casos donde los coeficientes de regresión fueron bastante bajos (menores a 0,80) debido posiblemente a errores experimentales. Para el caso del modelo agua-goma xantan para las concentraciones de 1,5 - 3,0% m/v de estabilizante los coeficientes fueron bajos debido posiblemente al fenómeno de gelatinización.

En general estos resultados indican que la ecuación de Arrhenius explica de manera confiable el efecto de la temperatura sobre los parámetros reológicos  $n$ ,  $k$  y  $\tau_0$ .

Por otro lado, un valor alto de  $E_a$  indica mayor sensibilidad a la temperatura; por lo tanto, se determinó que el índice de comportamiento al flujo es más sensible a la temperatura, para todos los modelos agua-estabilizante, ya que los valores de energía de activación son mayores que los correspondientes al índice de consistencia y al esfuerzo de cedencia para el caso de la goma xantan (Steffe, 1992). A continuación se muestran las Tablas IV.10 y IV.11 correspondientes a las constantes de la ecuación de Arrhenius para  $k$  y  $n$  del modelo agua-C.M.C., y la Tabla IV.12 correspondiente a las constantes de la ecuación de Arrhenius para  $\tau_0$  del modelo agua-goma xantan. El resto de las tablas se encuentran disponibles en el apéndice B.

Tabla IV.10: Constantes de la ecuación de Arrhenius para el índice de consistencia del modelo agua-C.M.C.

$C_{est}$ % m/v	Phom: 0 bar			Phom: 100 bar			Phom: 200 bar		
	$A_k$ (Pa.s <sup>n</sup> )	$E_{a_k}$ (kJ/mol)	$R^2$	$A_k$ (Pa.s <sup>n</sup> )	$E_{a_k}$ (kJ/mol)	$R^2$	$A_k$ (Pa.s <sup>n</sup> )	$E_{a_k}$ (kJ/mol)	$R^2$
<b>0,2</b>	2,78E-05	-16,88	0,967						
<b>0,3</b>	1,72E-06	-25,59	0,981	9,16E-06	-20,52	0,978	1,55E-05	-18,45	0,999
<b>0,4</b>	6,28E-07	-29,27	0,948	4,34E-06	-23,28	0,998	8,09E-06	-21,20	0,925
<b>0,5</b>	7,71E-07	-29,14	0,959	2,14E-06	-25,80	0,965	4,24E-06	-23,58	0,958
<b>0,6</b>	2,19E-07	-33,44	0,999	1,68E-06	-26,75	0,929	3,22E-06	-24,79	0,971
<b>0,7</b>	8,30E-08	-37,35	0,999	3,06E-07	-32,69	0,984	3,78E-07	-31,49	0,974
<b>0,8</b>	2,71E-08	-40,91	0,993	1,37E-07	-35,72	0,988	1,13E-07	-35,50	0,985
<b>0,9</b>	1,31E-08	-43,83	0,987	3,07E-08	-40,17	0,993	1,30E-06	-30,27	0,901
<b>1,0</b>	2,03E-08	-43,24	0,998	1,69E-08	-42,62	0,999	3,05E-08	-40,72	0,998
<b>1,5</b>	9,64E-08	-43,11	0,999	4,28E-08	-43,94	0,999	7,39E-08	-41,76	0,999
<b>2,0</b>	1,45E-06	-38,96	0,999	5,19E-07	-40,66	0,983	4,23E-07	-40,53	0,987
<b>3,0</b>	2,50E-05	-35,91	0,999	1,35E-05	-36,86	0,994	5,52E-06	-38,38	0,999

Tabla IV.11: Constantes de la ecuación de Arrhenius para el índice de comportamiento al flujo del modelo agua-C.M.C.

$C_{est}$ % m/v	Phom: 0 bar			Phom: 100 bar			Phom: 200 bar		
	$A_n$ (adim)	$Ea_n$ (kJ/mol)	$R^2$	$A_n$ (adim)	$Ea_n$ (kJ/mol)	$R^2$	$A_n$ (adim)	$Ea_n$ (kJ/mol)	$R^2$
0,2	2,37	1,45	0,468	-	-	-	-	-	-
0,3	4,19	3,12	0,984	2,93	2,13	0,958	2,30	1,34	0,977
0,4	5,99	4,17	0,877	3,13	2,30	0,907	2,61	1,76	0,359
0,5	6,56	4,42	0,887	3,13	3,40	0,889	3,91	2,89	0,845
0,6	9,49	5,56	0,999	4,88	3,51	0,766	3,77	2,81	0,901
0,7	11,05	6,14	0,994	7,23	4,79	0,923	7,16	4,69	0,927
0,8	13,72	6,79	0,974	7,86	5,16	0,949	8,75	5,31	0,959
0,9	16,14	7,34	0,979	10,25	5,85	0,975	5,82	4,37	0,838
1,0	13,94	7,01	0,995	11,39	6,27	0,998	11,27	6,20	0,988
1,5	7,28	5,81	0,999	6,13	5,04	0,981	5,20	4,43	0,987
2,0	4,20	4,62	0,897	5,39	5,09	0,992	4,17	4,21	0,999
3,0	7,92	6,95	0,986	13,71	8,31	0,926	6,07	5,84	0,969

Tabla IV.12: Constantes de la ecuación de Arrhenius para el esfuerzo de cedencia del modelo agua-goma xantan.

$C_{est}$ % m/v	Phom: 0 bar			Phom: 100 bar			Phom: 200 bar		
	$A_{\tau_0}$ (mPa)	$Ea_{\tau_0}$ (kJ/mol)	$R^2$	$A_{\tau_0}$ (mPa)	$Ea_{\tau_0}$ (kJ/mol)	$R^2$	$A_{\tau_0}$ (mPa)	$Ea_{\tau_0}$ (kJ/mol)	$R^2$
0,3	8,71E-12	-63,324	0,999	-	-	-	-	-	-
0,4	7,08E-04	-19,934	0,999	-	-	-	-	-	-
0,5	3,73E-04	-22,333	0,999	-	-	-	-	-	-
0,6	3,36E-05	-29,136	0,978	2,26E-08	-46,420	0,999	-	-	-
0,7	2,23E-04	-25,211	0,996	1,05E-07	-43,216	0,999	1,99E-08	-47,066	0,999
0,8	8,47E-04	-22,321	0,940	2,15E-08	-47,766	0,999	3,00E-12	-68,945	0,999
0,9	7,20E-04	-23,204	0,878	7,19E-09	-51,719	0,819	1,51E-09	-54,423	0,999
1,0	1,85E-02	-15,208	0,959	7,74E-06	-34,723	0,794	4,79E-07	-40,857	0,999
1,5	5,71E+00	-2,248	0,039	8,02E-02	-12,705	0,318	3,52E-04	-26,216	0,463
2,0	5,49E+01	2,854	0,838	9,90E+00	-1,283	0,058	1,21E+00	-6,735	0,161
3,0	3,15E+02	5,819	0,608	8,06E+01	2,791	0,365	3,90E+01	1,298	0,899

**IV.2.2.- Estudio reológico de los néctares de fruta.**

El estudio reológico de los néctares de fruta a diferentes concentraciones de estabilizantes se realizó de la misma manera que para el caso de los modelos aguagoma; obteniéndose que el comportamiento reológico de los néctares de fruta respondieron a la Ley de Potencia (figuras IV.27 a IV.35), con valores de  $R^2$  por encima de 0,97 para el néctar de fruta 1,  $R^2 > 0,91$  para el néctar de fruta 2 y  $R^2 > 0,99$  para el néctar de fruta 3. Para observar mejor los resultados se muestran los ajustes realizados para algunas de las concentraciones de estabilizante, para cada una de las temperaturas; el resto de las gráficas se encuentran disponibles en el apéndice B.

*Para  $T= 20^{\circ}C$*

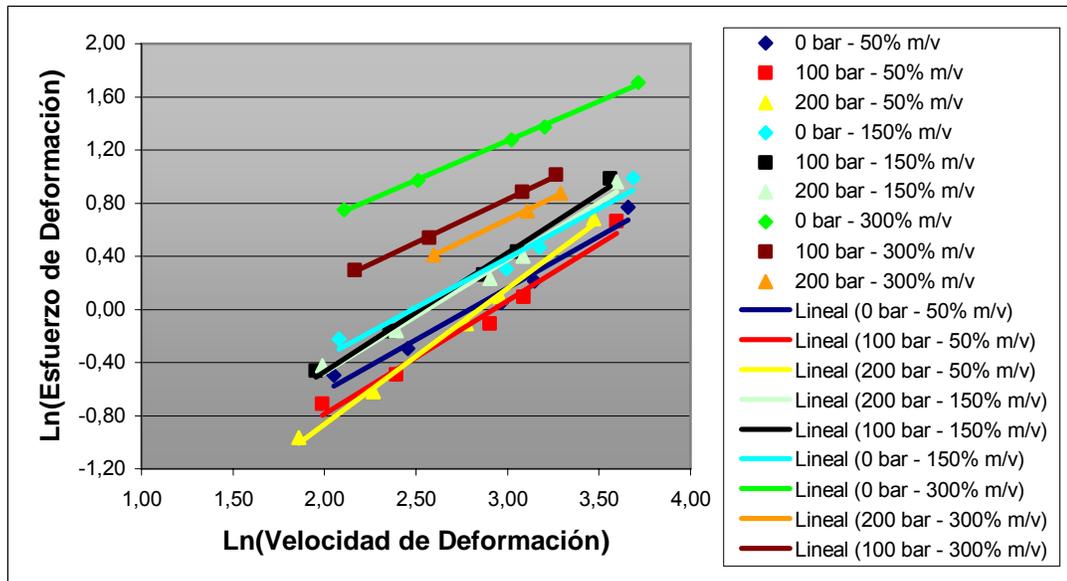


Figura IV.27. Ajustes de los datos experimentales del néctar de fruta 1 a la Ley de potencia a 20°C para la determinación de los parámetros reológicos.

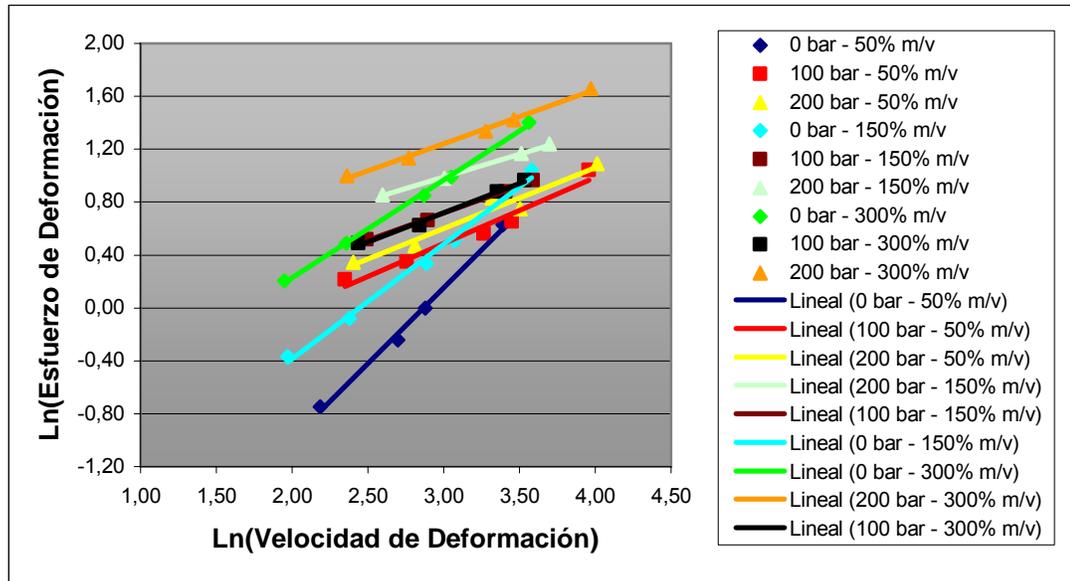


Figura IV.28. Ajustes de los datos experimentales del néctar de fruta 2 a la Ley de potencia a 20°C para la determinación de los parámetros reológicos.

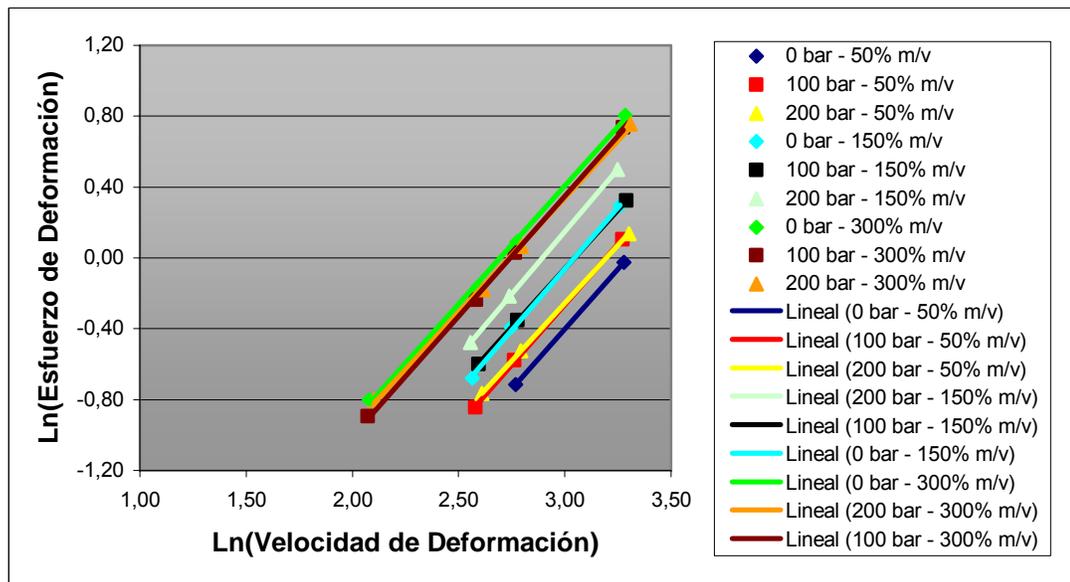


Figura IV.29. Ajustes de los datos experimentales del néctar de fruta 3 a la Ley de potencia a 20°C para la determinación de los parámetros reológicos.

Para  $T= 65^{\circ}C$

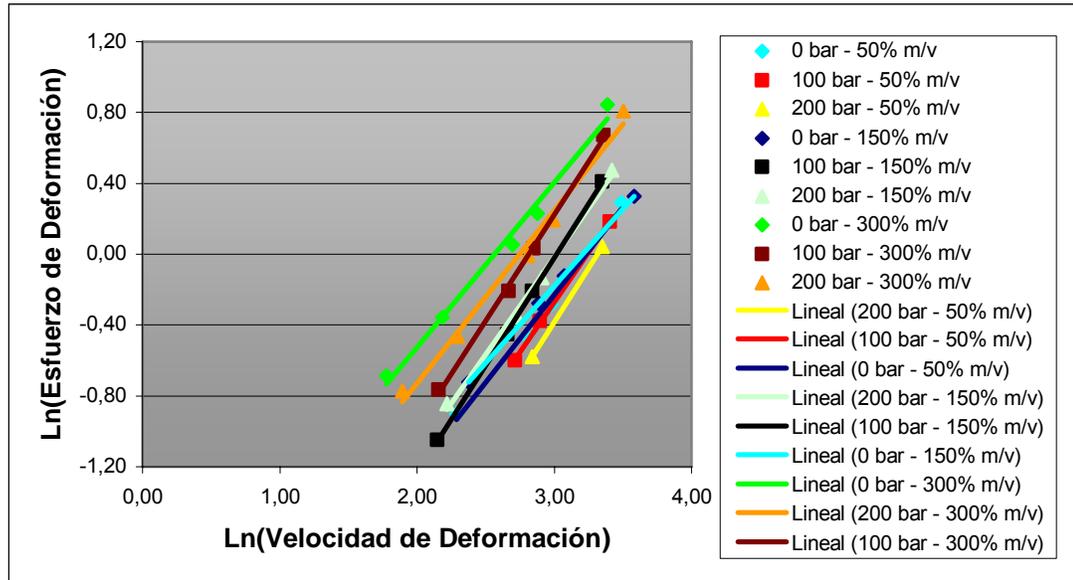


Figura IV.30. Ajustes de los datos experimentales del néctar de fruta 1 a la Ley de potencia a 65°C para la determinación de los parámetros reológicos.

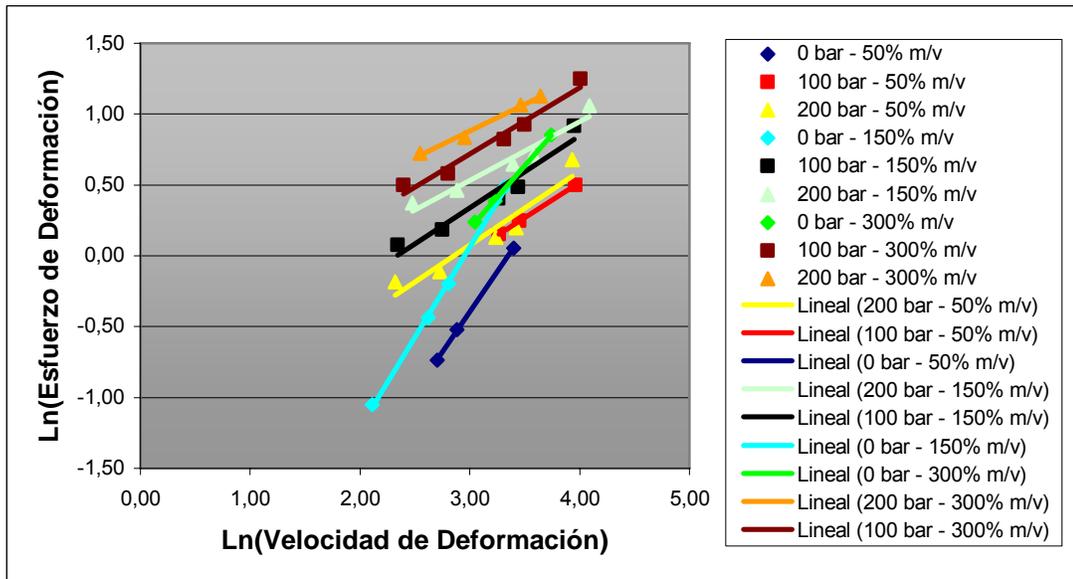


Figura IV.31. Ajustes de los datos experimentales del néctar de fruta 2 a la Ley de potencia a 65°C para la determinación de los parámetros reológicos.

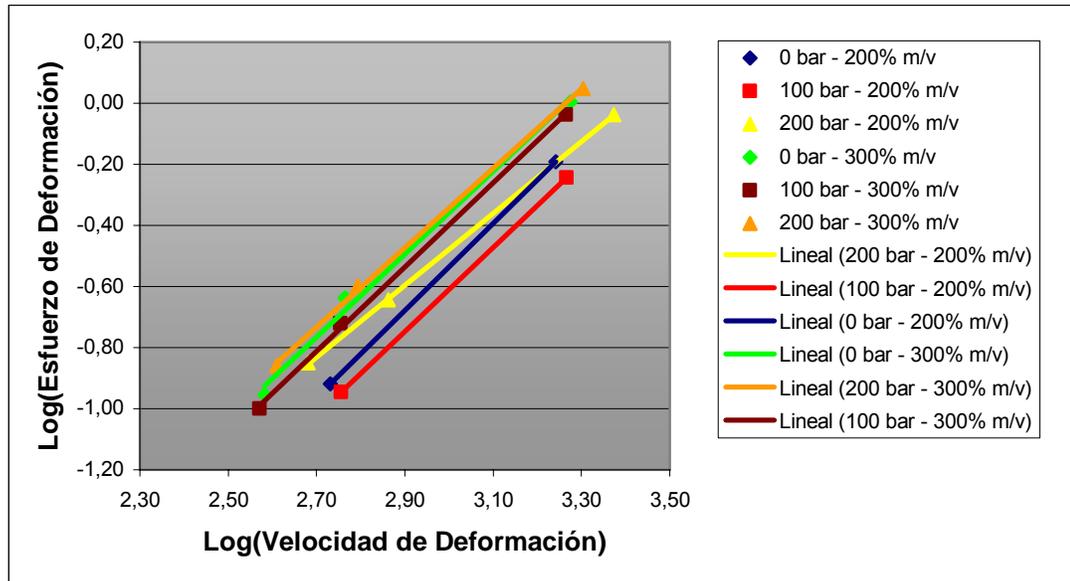


Figura IV.32. Ajustes de los datos experimentales del néctar de fruta 3 a la Ley de potencia a 65°C para la determinación de los parámetros reológicos.

*Para  $T= 90^{\circ}C$*

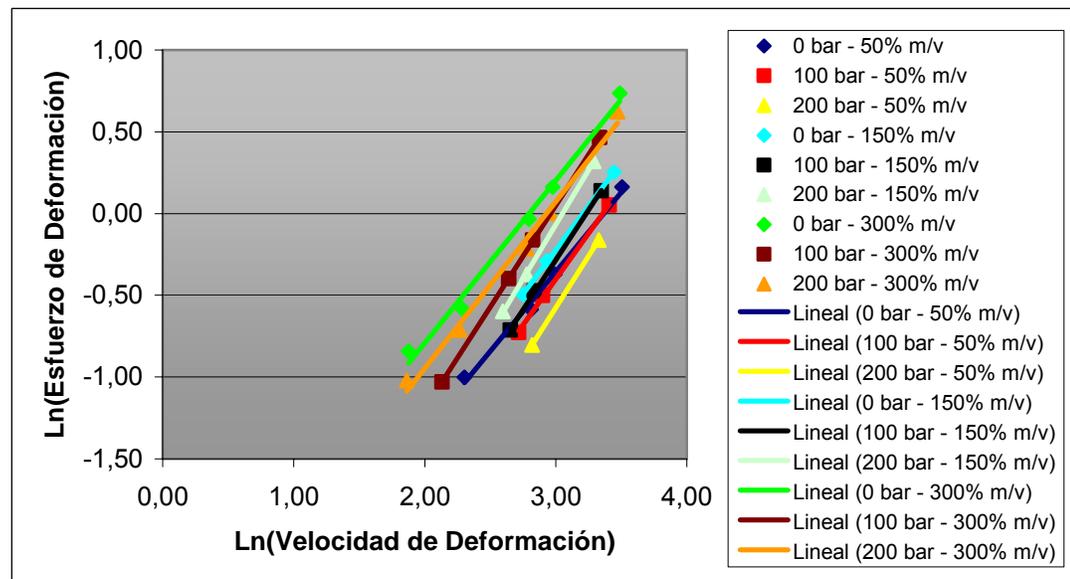


Figura IV.33. Ajustes de los datos experimentales del néctar de fruta 1 a la Ley de potencia a 90°C para la determinación de los parámetros reológicos.

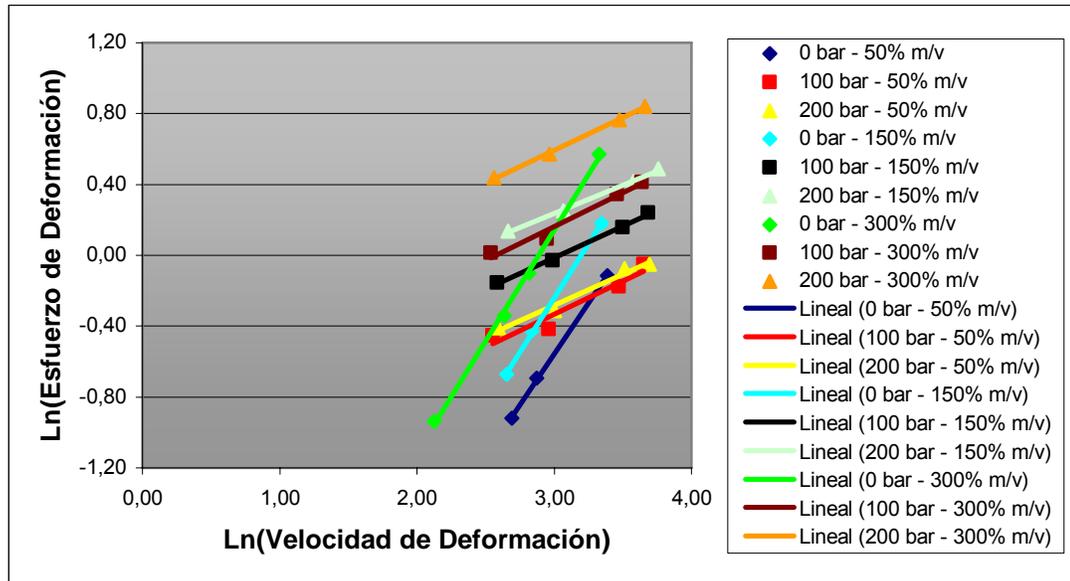


Figura IV.34. Ajustes de los datos experimentales del néctar de fruta 2 a la Ley de potencia a 90°C para la determinación de los parámetros reológicos.

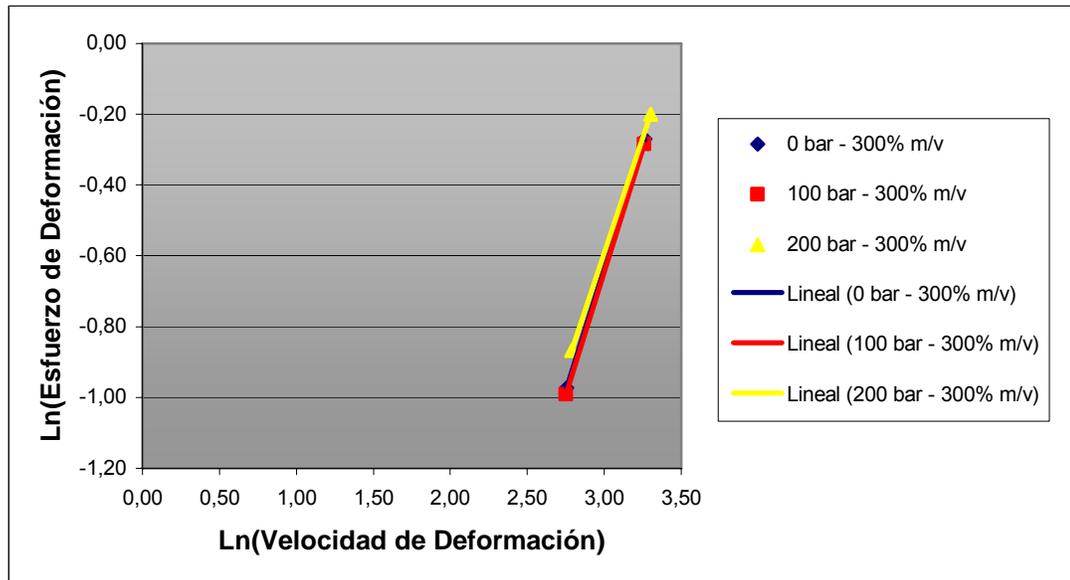


Figura IV.35. Ajustes de los datos experimentales del néctar de fruta 3 a la Ley de potencia a 90°C para la determinación de los parámetros reológicos.

Al observar los valores del índice de comportamiento al flujo  $n$ , para el néctar de fruta 1 a 20°C (Tabla IV.13), se aprecia una disminución de dicho valor al aumentar la concentración del estabilizante  $A$  para todas las presiones de homogenización, y un aumento al incrementarse la presión de homogenización. Por otro lado, el valor del

índice de consistencia  $k$  aumentó al incrementar la cantidad de estabilizante usado y disminuyó al aumentar la presión de homogenización, con la excepción de las muestras homogenizadas con 100 y 150% m/v de estabilizante  $A$  de la fórmula original, donde el índice de consistencia  $k$  aumenta con la presión de homogenización, posiblemente asociado a errores experimentales; sin embargo, el comportamiento en general fue similar al de los modelos agua-goma para todas las temperaturas de estudio.

A partir del valor de  $n$  se determinó que para todas las presiones de homogenización y para todas las concentraciones del estabilizante  $A$ , excepto para 50% m/v de la fórmula original del producto homogenizado a 200 bar, el fluido tiene un comportamiento pseudoplástico ( $0 < n < 1$ ), y un comportamiento Newtoniano 50% m/v de  $A$  a 200 bar de presión de homogenización para 20°C.

Para 65 °C (Tabla B.52, apéndice B), los valores de  $n$  del producto no homogenizado y el homogenizado a 200 bar de presión para todo el rango de concentraciones son bastantes cercanas a uno, lo que indica que para ambos casos el comportamiento reológico tiende a ser Newtoniano. Para el caso del producto homogenizado a 100 bar, se determinó que el fluido tiene un comportamiento dilatante ( $n > 1$ ) para todas las concentraciones de estabilizante. Por otro lado, a 90 °C (Tabla B.53, apéndice B) se determinó que para el producto no homogenizado su comportamiento se ajusta al de los fluidos Newtonianos, y para el producto homogenizado a 100 y 200 bar de presión las muestras tienen un comportamiento dilatante para casi todas las concentraciones de estabilizante, excepto para 200 bar y 300% m/v del estabilizante  $A$  de la fórmula original, cuyo índice de comportamiento al flujo es cercano a 1, lo que indica un comportamiento Newtoniano.

Tabla IV.13: Tabla comparativa del efecto de la presión de homogenización sobre  $k$  y  $n$  para el néctar de fruta 1 a 20 °C.

$C_{est}$ % m/v	Phom: 0 bar			Phom: 100 bar			Phom: 200 bar		
	$n$ (adim)	$k$ (Pa.s <sup>n</sup> )	$R^2$	$n$ (adim)	$k$ (Pa.s <sup>n</sup> )	$R^2$	$n$ (adim)	$k$ (Pa.s <sup>n</sup> )	$R^2$
<b>50</b>	0,775	0,115	0,971	0,849	0,084	0,977	1,022	0,055	0,996
<b>100</b>	0,760	0,120	0,996	0,944	0,074	0,989	0,866	0,089	0,980
<b>150</b>	0,744	0,158	0,972	0,893	0,105	0,992	0,850	0,114	0,986
<b>200</b>	0,723	0,225	0,999	0,802	0,169	0,995	0,795	0,168	0,993
<b>250</b>	0,798	0,248	0,999	0,715	0,251	0,999	0,783	0,192	0,995
<b>300</b>	0,594	0,599	0,999	0,655	0,322	0,999	0,631	0,297	0,998

Para el néctar de fruta 2 (Tabla IV.14) se determinó que el índice de comportamiento al flujo  $n$  disminuye al aumentar la concentración del estabilizante  $B$  para las muestras no homogenizadas, pero para las muestras homogenizadas para ambas presiones no se observó una diferencia apreciable al variar la concentración del estabilizante  $B$ ; con respecto al efecto de la presión no se observó una tendencia definida. Para el índice de consistencia  $k$  se determinó que al aumentar la concentración de estabilizante aumenta el valor del parámetro reológico, pero a diferencia de todos los casos observados anteriormente se determinó que  $k$  aumenta al aumentar la presión de homogenización, lo que indica un efecto de alguno de los ingredientes que conforman el néctar a parte del estabilizante, lo mismo sucede para las temperaturas de 65 y 90°C (Tablas B.56 y B.57, apéndice B). Este resultado se ajusta a las mediciones de la viscosidad realizadas con la copa Ford (figuras IV.9 a IV.11) y el viscosímetro de Brookfield (figuras IV.12 a IV.14), donde se determinó que la viscosidad aumenta con la presión de homogenización.

A partir de los valores de  $n$ , para 20°C se determinó que el fluido tiene un comportamiento pseudoplástico ( $0 < n < 1$ ), excepto para 50% m/v de  $B$  de la fórmula original del producto no homogenizado que presenta un comportamiento dilatante. A 65 y 90°C para el producto no homogenizado, su comportamiento reológico se ajusta al fluido dilatante ( $n > 1$ ), excepto para la concentración de 300% m/v del estabilizante  $B$  de la fórmula original a 65°C, cuyo valor de  $n$  indica un comportamiento reológico

pseudoplástico ( $0 < n < 1$ ). Para las muestras homogenizadas el comportamiento reológico se ajusta para todo el rango de concentraciones, al de los fluidos pseudoplásticos ( $0 < n < 1$ ).

Tabla IV.14: Tabla comparativa del efecto de la presión de homogenización sobre  $k$  y  $n$  para el néctar de fruta 2 a 20 °C.

$C_{est}$ % m/v	Phom: 0 bar			Phm: 100 bar			Phom: 200 bar		
	$n$ (adim)	$k$ (Pa.s <sup>n</sup> )	$R^2$	$n$ (adim)	$k$ (Pa.s <sup>n</sup> )	$R^2$	$n$ (adim)	$k$ (Pa.s <sup>n</sup> )	$R^2$
<b>50</b>	1,148	0,037	0,996	0,501	0,362	0,962	0,463	0,454	0,952
<b>100</b>	0,938	0,085	0,991	0,451	0,515	0,974	0,443	0,525	0,972
<b>150</b>	0,868	0,119	0,992	0,408	0,603	0,997	0,349	0,943	0,998
<b>200</b>	0,799	0,180	0,996	0,411	0,660	0,996	0,368	0,837	0,995
<b>250</b>	0,718	0,262	0,999	0,485	0,559	0,997	0,306	1,213	1,000
<b>300</b>	0,741	0,285	0,998	0,442	0,546	0,992	0,410	1,010	0,995

Para el néctar de fruta 3 (Tabla IV.15) no se encontró un efecto considerable de la concentración del estabilizante  $C$  ni de la presión de homogenización sobre el índice de comportamiento al flujo con la temperatura. En cuanto al índice de consistencia, se observó que los valores más altos se obtuvieron para las muestras homogenizadas a 200 bar de presión, lo que supondría un aumento de este parámetro al aumentar la presión de homogenización; sin embargo, al comparar el producto no homogenizado con el homogenizado a 100 bar de presión, no se observa una diferencia que permita determinar el efecto de la homogenización a esta presión sobre el índice de consistencia de estas muestras. Este mismo comportamiento se observó para las temperaturas de 65 y 90 °C (Tablas B.50 y B.51, apéndice B) con la diferencia de que debido a las bajas viscosidades del néctar de fruta 3 a estas temperaturas sólo se obtuvieron los parámetros reológicos para las concentraciones más altas de  $C$  (200 – 300% m/v).

Se determinó a partir de los valores de  $n$  que todas las muestras presentan un comportamiento reológico correspondiente a los fluidos dilatantes para todo el rango de concentraciones y temperaturas.

Tabla IV.15: Tabla comparativa del efecto de la presión de homogenización sobre de  $k$  y  $n$  para el néctar de fruta 3 a 20 °C.

$C_{est}$ % m/v	Phom: 0 bar			Phom: 100 bar			Phom: 200 bar		
	$n$ (adim)	$k$ (Pa.s <sup>n</sup> )	R <sup>2</sup>	$n$ (adim)	$k$ (Pa.s <sup>n</sup> )	R <sup>2</sup>	$n$ (adim)	$k$ (Pa.s <sup>n</sup> )	R <sup>2</sup>
50	1,350	0,012	0,999	1,360	0,013	0,999	1,301	0,016	0,999
100	1,348	0,014	0,999	1,315	0,017	0,999	1,455	0,013	0,998
150	1,388	0,015	0,998	1,329	0,017	0,999	1,410	0,017	0,999
200	1,381	0,018	0,999	1,357	0,018	0,999	1,306	0,023	0,999
250	1,365	0,020	0,999	1,351	0,020	0,999	1,264	0,027	0,999
300	1,338	0,027	0,998	1,355	0,024	0,999	1,294	0,029	0,999

#### Efecto de la temperatura:

Para observar el efecto de la temperatura sobre los valores de  $k$  y  $n$ , se presentan las Tablas IV.16 y IV.17 con los parámetros reológicos a diferentes temperaturas, para el producto homogenizado a 200 bar de presión del néctar de fruta 1 y del néctar de fruta 2 homogenizado a 100 bar de presión, respectivamente.

Tabla IV.16: Tabla comparativa del efecto de la temperatura sobre  $k$  y  $n$  para el néctar de fruta 1 a 200bar de presión de homogenización.

$C_{est}$ % m/v	Temp: 20 °C		Temp: 65 °C		Temp: 90 °C	
	$n$ (adim)	$k$ (Pa.s <sup>n</sup> )	$n$ (adim)	$k$ (Pa.s <sup>n</sup> )	$n$ (adim)	$k$ (Pa.s <sup>n</sup> )
50	1,022	0,055	1,218	0,018	1,255	0,013
100	0,866	0,089	1,049	0,037	1,106	0,027
150	0,850	0,114	1,097	0,037	1,330	0,017
200	0,795	0,168	0,983	0,056	1,148	0,031
250	0,783	0,192	1,162	0,036	1,232	0,025
300	0,631	0,297	0,974	0,069	1,020	0,051

Tabla IV.17: Tabla comparativa del efecto de la temperatura sobre  $k$  y  $n$  para el néctar de fruta 2 a 100bar de presión de homogenización.

$C_{est}$ % m/v	Temp: 20 °C		Temp: 65 °C		Temp: 90 °C	
	$n$ (adim)	$k$ (Pa.s <sup>n</sup> )	$n$ (adim)	$k$ (Pa.s <sup>n</sup> )	$n$ (adim)	$k$ (Pa.s <sup>n</sup> )
<b>50</b>	0,501	0,362	0,500	0,228	0,372	0,235
<b>100</b>	0,451	0,515	0,489	0,287	0,420	0,238
<b>150</b>	0,408	0,603	0,507	0,307	0,357	0,339
<b>200</b>	0,411	0,660	0,482	0,389	0,402	0,313
<b>250</b>	0,485	0,559	0,487	0,406	0,423	0,303
<b>300</b>	0,442	0,546	0,469	0,502	0,381	0,376

El índice de consistencia disminuye al aumentar la temperatura para todos los néctares, comportamiento similar al de los modelos agua-estabilizante. Para el caso del índice de comportamiento al flujo se observó un aumento de los valores con la temperatura para el néctar de fruta 1 (Tabla IV.16); con el néctar de fruta 2 (Tabla IV.17) no se obtuvo una tendencia del valor de  $n$  con respecto a la temperatura. Vale la pena destacar el hecho de que no se obtuvieron suficientes datos como para concluir acerca del efecto de la temperatura sobre los parámetros reológicos del néctar de fruta 3, debido a las bajas viscosidades de las muestras.

La ecuación de Arrhenius (Ec. 3) fue usada para explicar el comportamiento de dichos parámetros reológicos con respecto a la temperatura, mediante una regresión lineal simple. Los ajustes para el índice de consistencia presentaron valores del coeficiente de regresión mayores a 0,95 para el néctar de fruta 1 y  $R^2 > 0,95$  para el néctar de fruta 2; para el índice de comportamiento al flujo los coeficientes de regresión fueron mayores a 0,86 para el néctar de fruta 1 y  $R^2 > 0,84$  para el néctar de fruta 2, excepto la muestra de 50% m/v del estabilizante *B* con un valor de  $R^2$  de 0,04; sin embargo, para este último se tiene que los valores  $R^2$  son en su gran mayoría bastante bajos ( $R^2 < 0,60$ ) para las muestras homogenizadas; estos resultados indican que la ecuación de Arrhenius sólo explica el efecto de la temperatura sobre los parámetros reológicos para el producto no homogenizado del néctar de fruta 2, estos valores se encuentran disponibles en Apéndice que se encuentra en el CD anexo a este trabajo.

Con respecto a la sensibilidad de los parámetros reológicos a la temperatura, se determinó que el índice de comportamiento al flujo es más sensible a la temperatura para todos los néctares, ya que los valores de energía de activación son mayores que los correspondientes al índice de consistencia (Steffe, 1992). A continuación se muestran las Tablas IV.18 y IV.19 correspondientes a las constantes de la ecuación de Arrhenius para  $k$  y  $n$  del néctar de fruta 1. El resto de las tablas se encuentran disponibles en el apéndice B.

Tabla IV.18: Constantes de la ecuación de Arrhenius para el índice de consistencia del néctar de fruta 1.

$C_{est}$ % m/v	Phom: 0 bar			Phom: 100 bar			Phom: 200 bar		
	$A_k$ (Pa.s <sup>n</sup> )	$Ea$ (kJ/mol)	$R^2$	$A_k$ (Pa.s <sup>n</sup> )	$Ea$ (kJ/mol)	$R^2$	$A_k$ (Pa.s <sup>n</sup> )	$Ea$ (kJ/mol)	$R^2$
50	2,54E-04	-14,76	0,938	7,84E-05	-16,85	0,951	2,66E-05	-18,51	0,989
100	5,74E-04	-12,96	0,979	5,09E-05	-17,66	0,981	1,68E-04	-15,25	0,997
150	4,79E-05	-19,82	0,987	1,13E-05	-22,15	0,978	8,29E-06	-23,29	0,990
200	6,64E-06	-25,22	0,951	1,97E-06	-27,51	0,972	2,80E-05	-21,22	0,997
250	7,28E-07	-30,86	0,974	1,31E-07	-35,13	0,994	3,24E-06	-26,65	0,984
300	2,92E-06	-29,65	0,980	2,97E-07	-33,62	0,962	2,15E-05	-23,10	0,980

Tabla IV.19: Constantes de la ecuación de Arrhenius para el índice de comportamiento al flujo del néctar de fruta 1.

$C_{est}$ % m/v	Phom: 0 bar			Phom: 100 bar			Phom: 200 bar		
	$A_n$ (adim)	$Ea$ (kJ/mol)	$R^2$	$A_n$ (adim)	$Ea$ (kJ/mol)	$R^2$	$A_n$ (adim)	$Ea$ (kJ/mol)	$R^2$
50	2,83	3,12	0,864	4,00	3,73	0,902	3,11	2,69	0,971
100	2,01	2,36	0,953	3,69	3,29	0,938	3,19	3,16	0,990
150	4,37	4,36	0,910	5,18	4,24	0,918	8,00	5,49	0,981
200	8,17	5,83	0,879	9,66	6,01	0,941	5,03	4,51	0,984
250	10,76	6,29	0,939	26,43	8,76	0,986	9,26	5,98	0,965
300	9,92	6,81	0,965	22,95	8,59	0,937	8,80	6,37	0,952

### IV.3.- Estudio de la estabilidad.

A continuación se presentan los resultados del estudio de estabilidad de los néctares de fruta.

Resultados del néctar de fruta 3:

Al observar los porcentajes de sedimentación a las diferentes concentraciones de estabilizante  $C$  para el producto no homogenizado (figura IV.36), se encontró que al aumentar la cantidad de estabilizante hay una mejora en la estabilidad del producto, ya que se aprecia una disminución de un 10% en el porcentaje de sedimentación entre los casos extremos. Esto se debe a que al aumentar la cantidad de estabilizante la viscosidad de la muestra aumenta (Phillips y otros, 1982) y, por lo tanto, aumenta también la capacidad del mismo de mantener en suspensión los sólidos que lo conforman (Roudot, 2004). Las figuras correspondientes a los casos de 100 y 200 bar de presión de homogenización se encuentran disponibles en el apéndice B, presentando un comportamiento análogo.

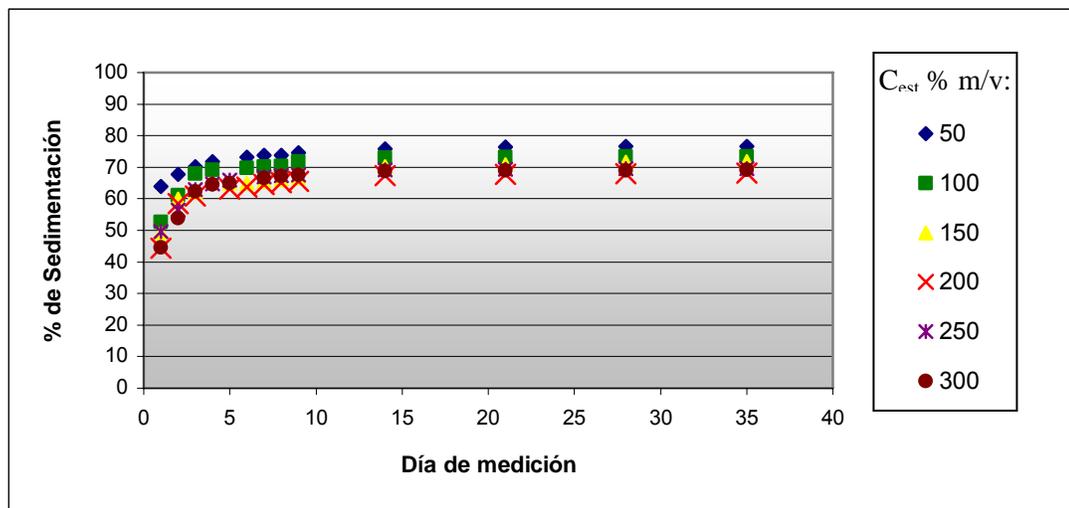


Figura IV.36. Estudio del proceso de sedimentación del néctar de fruta 3 a distintas concentraciones de estabilizante para el producto no homogenizado.

A continuación se muestran las figuras IV.37 a IV.39 correspondientes a la comparación de los porcentajes de sedimentación para cada presión de homogenización, para algunas de las concentraciones. El resto de las gráficas se encuentra en el apéndice B.

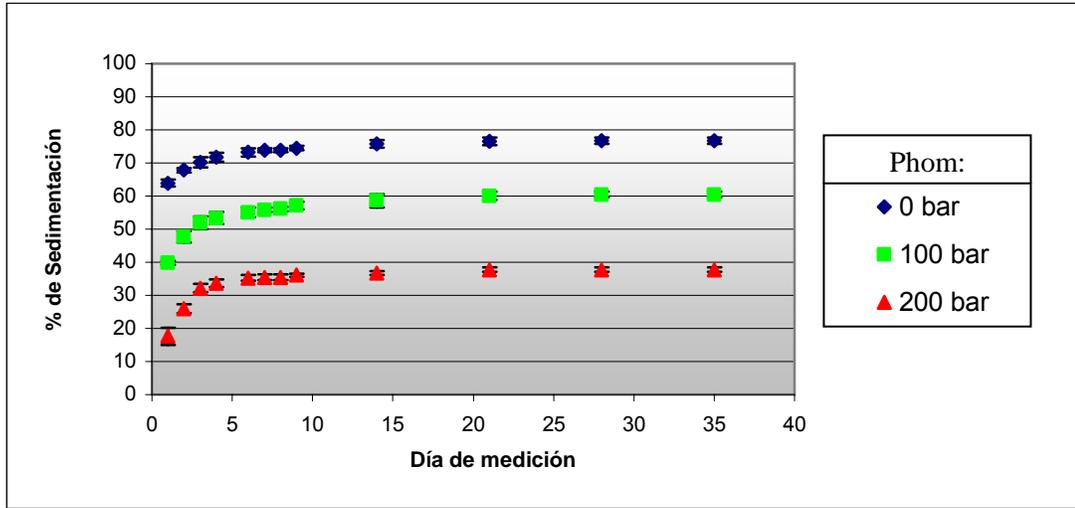


Figura IV.37. Resultados del estudio de la sedimentación del néctar de fruta 3 para el 50% del estabilizante usado en la fórmula original a distintas presiones de homogenización.

La figura IV.37 muestra una mejora importante en el porcentaje de sedimentación al aumentar la presión de homogenización, con una diferencia entre 16,2 y 24,2% de sedimentación entre el producto no homogenizado y el homogenizado a una presión de homogenización de 100 bar, y entre 38,9 y 46,3% de sedimentación de diferencia entre el producto no homogenizado y el homogenizado a 200 bar de presión. Esto indica que la homogenización tiene un mayor impacto sobre la estabilidad del producto que el aumento de la cantidad de estabilizante usado al comparar estos resultados con los observados en la figura IV.36.

Para el 150% m/v de estabilizante C (figura IV.38), la diferencia en el porcentaje de sedimentación entre el producto homogenizado y el homogenizado a 100 bar está entre 11,4 y 13,9%. Para el caso de la homogenización a 200 bar de presión se presentó aglomeración de los sólidos o sinéresis que imposibilitó la medición de la sedimentación para dichas muestras.

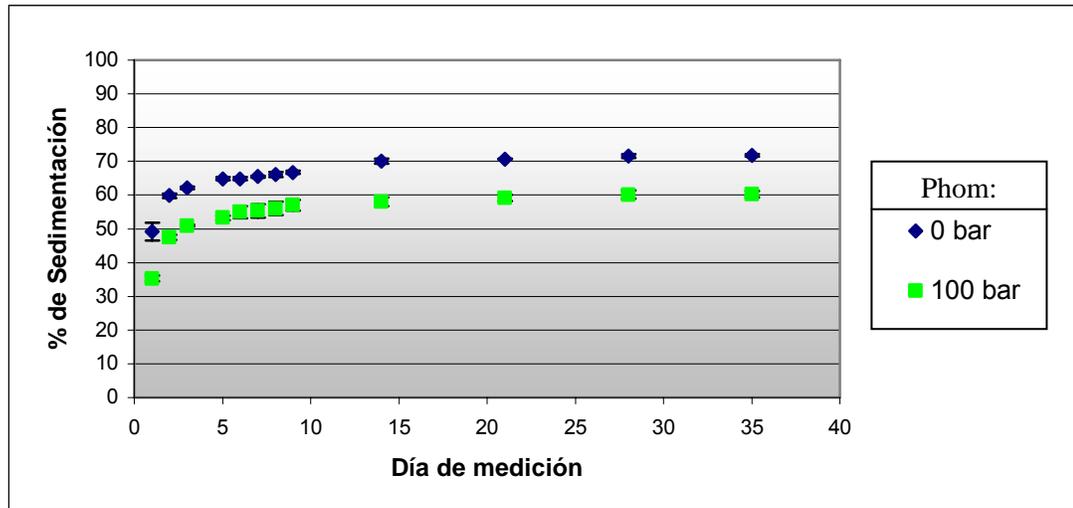


Figura IV.38. Resultados del estudio de la sedimentación del néctar de fruta 3 para el 150% del estabilizante usado en la fórmula original a distintas presiones de homogenización.

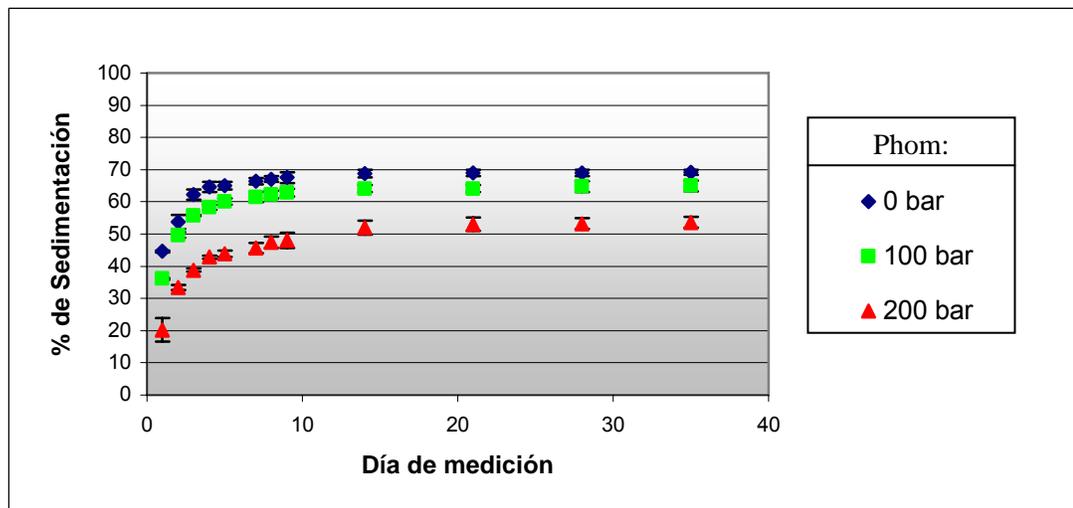


Figura IV.39. Resultados del estudio de la sedimentación del néctar de fruta 3 para el 300% del estabilizante usado en la fórmula original a distintas presiones de homogenización.

Para el caso de mayor cantidad de estabilizante  $C$  usado también se distingue una mejora en la estabilidad al aumentar la presión de homogenización, en especial a 200 bar; sin embargo, el efecto de la homogenización sobre los porcentajes de sedimentación al comparar los resultados para las diferentes presiones tiende a disminuir a medida que aumenta la cantidad de estabilizante usado.

Resultados del néctar 1:

Para este caso, y a diferencia de lo observado con el néctar de fruta 3, se puede visualizar (figura IV.40) un efecto muy importante de la concentración del estabilizante A sobre la estabilidad del producto. En especial para los casos de 200% o más de la cantidad original de estabilizante A, donde los porcentajes de sedimentación para todos los días de medición están en un rango de 0 a 3,8%.

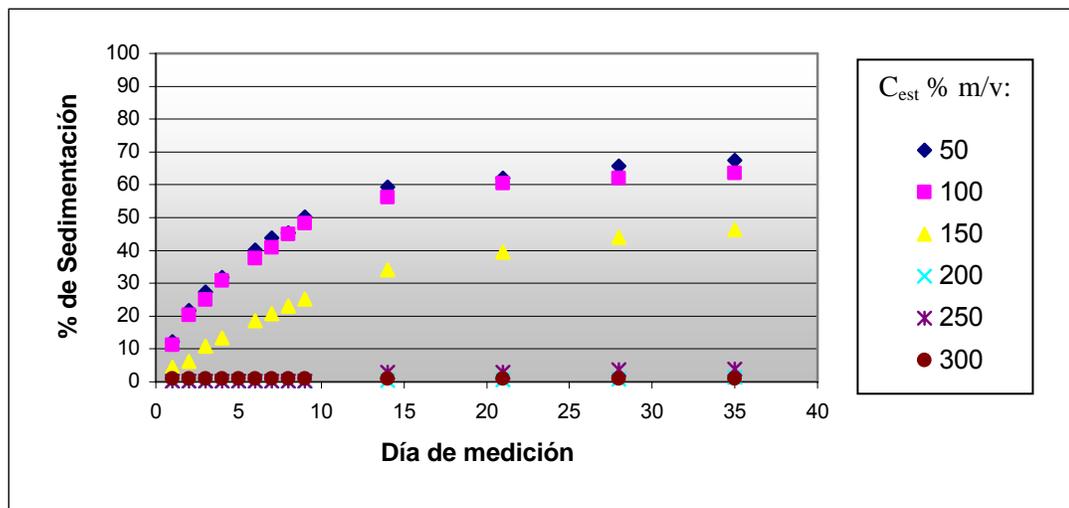


Figura IV.40. Estudio del proceso de sedimentación del néctar de fruta 1 a distintas concentraciones de estabilizante para el producto no homogenizado.

A continuación se muestran las figuras IV.41 a IV.43 para las concentraciones de 50, 250 y 300% de la cantidad de estabilizante A usados en la fórmula original debido a que en los casos restantes se presentó el fenómeno de sinéresis, lo cual imposibilitó la medición de la sedimentación. El resto de las gráficas se encuentra en el apéndice B.

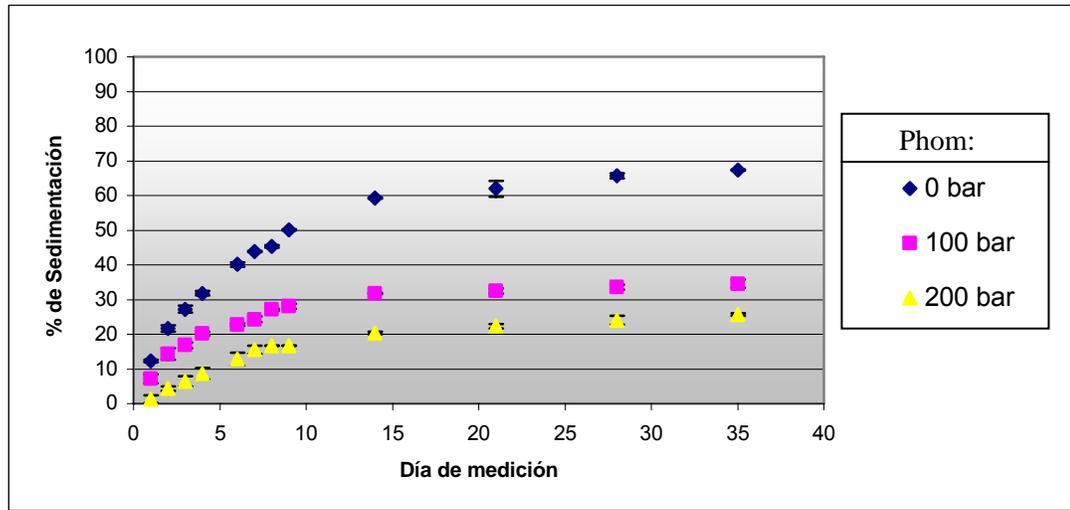


Figura IV.41. Resultados del estudio de la sedimentación del néctar de fruta 1 para el 50% del estabilizante usado en la fórmula original a distintas presiones de homogenización.

La figura IV.41, muestra la mejora notable del porcentaje de sedimentación al aumentar la presión de homogenización, con una diferencia máxima de 32,8% de sedimentación que se alcanza para los últimos días de medición entre las muestras sin homogenizar y las muestras homogenizadas a 100 bar, y de 41,7% de diferencia de sedimentación entre las muestras sin homogenizar y las muestras homogenizadas a 200 bar.

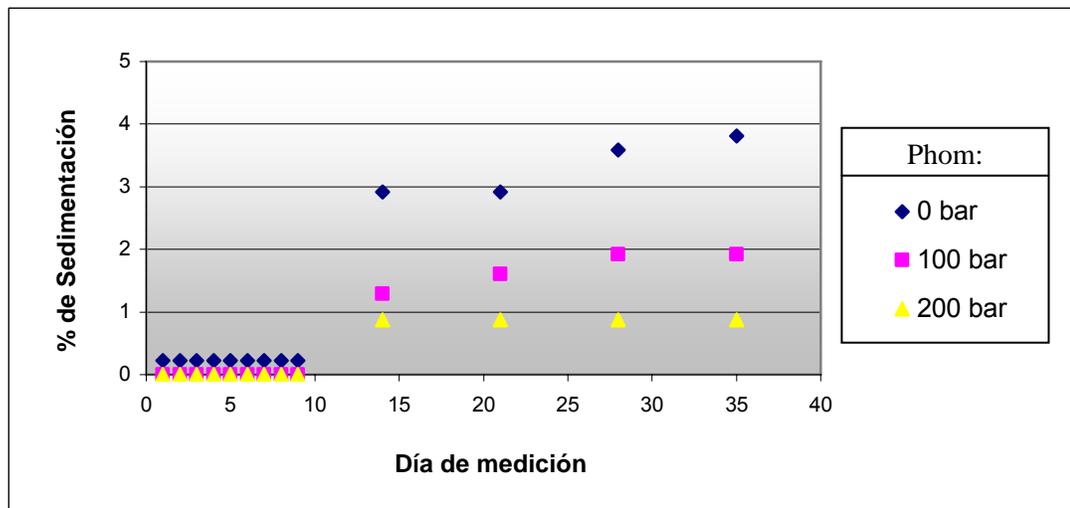


Figura IV.42. Resultados del estudio de la sedimentación del néctar de fruta 1 para el 250% del estabilizante usado en la fórmula original a distintas presiones de homogenización.

Como se puede apreciar en la figura IV.42 la estabilidad del producto se ve afectada por la presión de homogenización utilizada, ya que al aumentar dicha presión el porcentaje de sedimentación disminuye. En este caso el porcentaje de sedimentación es de 0,2% para el producto sin homogenizar y no hay sedimentación al homogenizar las muestras en los primeros 10 días de medición. Para el resto del tiempo de medición se alcanza un porcentaje de sedimentación máximo de 3,8% para el producto no homogenizado, 1,9% para 100 bar y sólo 0,9% para la presión de homogenización de 200 bar. Para el caso con 300% m/v de A (figura IV.43), se puede ver que no hay un cambio importante en la estabilidad para las diferentes muestras, con una diferencia entre el producto no homogenizado y el homogenizado a 200 bar de presión de 0,4%; por lo tanto, para altas concentraciones del estabilizante A no se observó un efecto significativo de la homogenización sobre la estabilidad del producto.

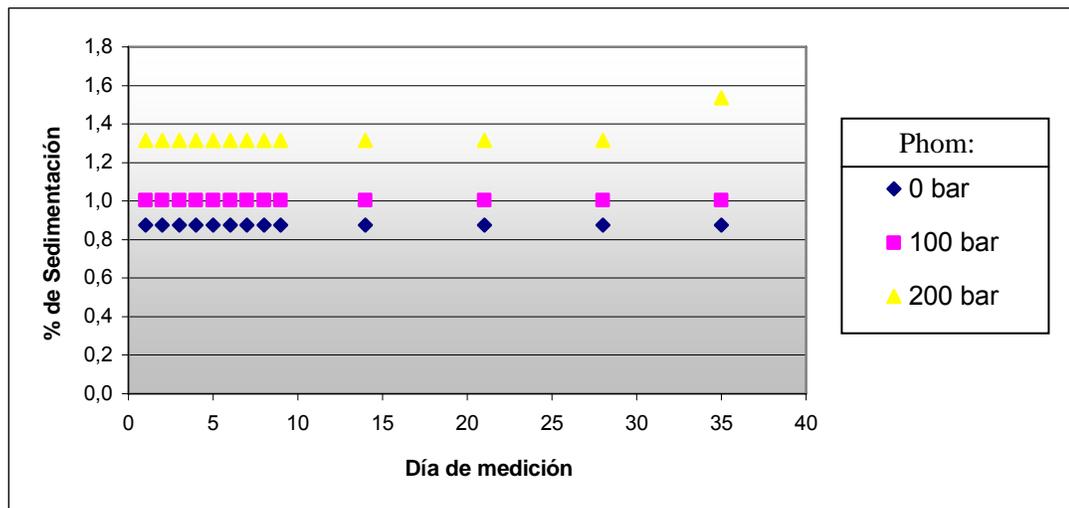


Figura IV.43. Resultados del estudio de la sedimentación del néctar de fruta 1 para el 300% del estabilizante usado en la fórmula original a distintas presiones de homogenización.

A continuación se muestra en la figura IV.44, un par de fotos ejemplo del efecto de sinéresis que se observó en algunas muestras homogenizadas y que imposibilitaron la medición de la sedimentación.

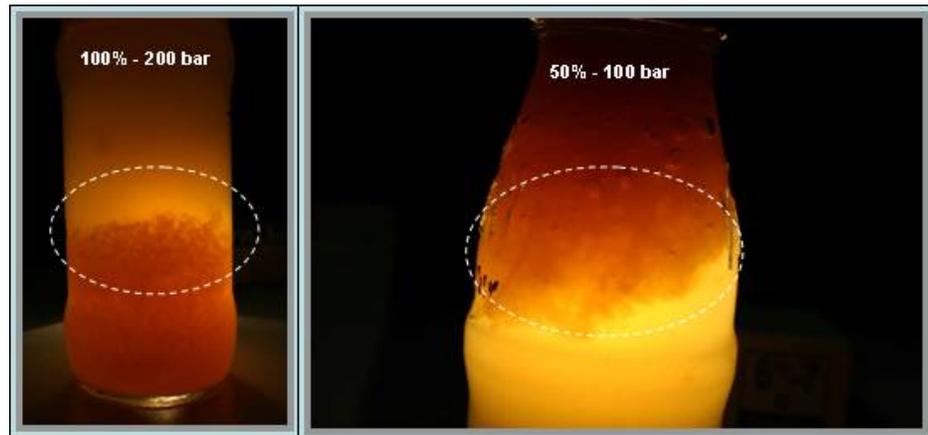


Figura IV.44. Fenómenos de sinéresis en las muestras del néctar de fruta 1.

Resultados del néctar de fruta 2:

En este caso se produjo sinéresis en todas las muestras donde el producto fue homogenizado a las presiones de 100 y 200 bar; por lo tanto, sólo se pudo realizar el estudio de estabilidad para las muestras no homogenizadas.

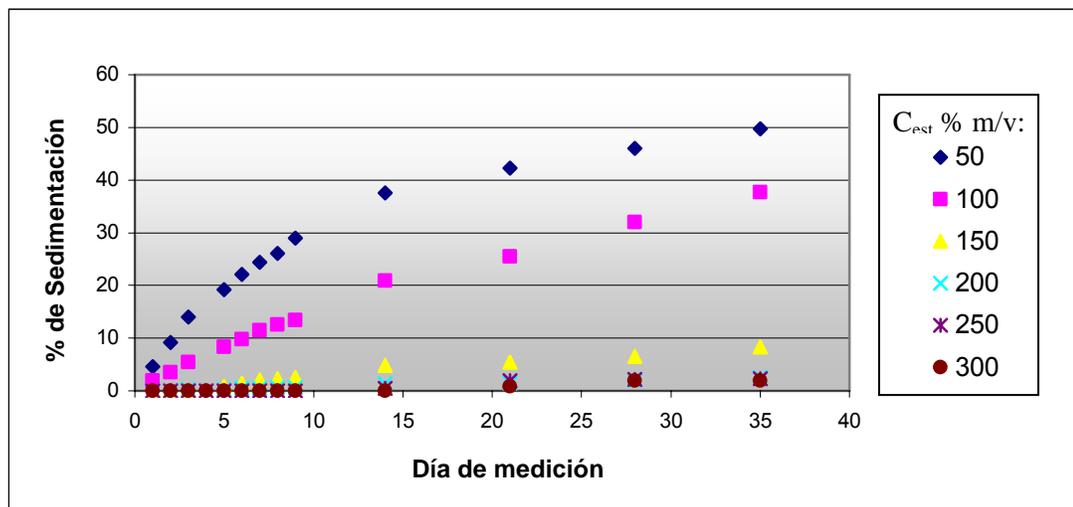


Figura IV.45. Estudio del proceso de sedimentación del néctar de fruta 2 a distintas concentraciones de estabilizante para el producto no homogenizado.

De forma análoga al caso del néctar de fruta 1, en la figura IV.45 se aprecia un efecto importante en la estabilidad del néctar de fruta 2 al variar la cantidad de estabilizante *B* utilizado, ya que dicha estabilidad mejora en gran medida al aumentar la cantidad de estabilizante.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES**

En el presente capítulo se exponen las conclusiones que se generaron durante el análisis de los resultados obtenidos del estudio realizado.

- La viscosidad de todos los modelos alimentarios agua-goma y del néctar 1 disminuye al aumentar la presión de homogenización.
- La viscosidad del néctar de fruta 2 aumentó con la presión de homogenización, señalando un efecto de alguno de los ingredientes que conforman el néctar.
- No hubo efecto significativo de la presión de homogenización sobre la viscosidad del néctar de fruta 3.
- La viscosidad de todas las muestras, tanto los néctares en su fórmula completa como los modelos agua-goma, aumentó con el aumento de la concentración de estabilizante para todas las presiones de homogenización.
- Se determinó que el comportamiento reológico de todos los modelos alimentarios y todos los néctares, excepto el modelo agua-goma xantan, se ajusta al del modelo de la Ley de Potencia para todas las presiones y todas las temperaturas estudiadas.
- El modelo agua-goma xantan se ajusta a la Ley de Potencia para las concentraciones mas bajas de estabilizante a las temperaturas de 65 y 90°C, para el resto de las concentraciones el comportamiento reológico fue plástico y fue explicada con el uso combinado de la Ley de potencia y la ecuación de plástico de Bingham para todas las temperaturas y todas las presiones de homogenización.

- El índice de comportamiento al flujo para los modelos agua-goma aumentó con la presión de homogenización y disminuyó con la concentración de estabilizante para todas las temperaturas, a excepción de modelo agua-pectina donde no se observó un efecto de la presión de homogenización sobre  $n$ .
- Los valores del índice de consistencia, para los modelos agua-goma, disminuyeron con la presión y aumentaron con la concentración de estabilizante para todas las temperaturas, a excepción del modelo agua-pectina donde no se observó un efecto de la presión de homogenización sobre  $k$ .
- Para el modelo agua-goma xantan, el esfuerzo de cedencia disminuye con el aumento de la presión de homogenización y aumenta con la concentración para todas las temperaturas.
- Los valores del índice de comportamiento al flujo del néctar de fruta 1 aumentaron con la presión y disminuyeron con la concentración de estabilizante para todas las temperaturas.
- Los valores del índice de consistencia del néctar de fruta 1 disminuyeron con la presión y aumentaron con la concentración de estabilizante para todas las temperaturas.
- El néctar de fruta 2 no mostró una tendencia definida de los valores del índice de comportamiento al flujo con respecto a la presión de homogenización ni la temperatura, pero al aumentar la concentración de estabilizante su valor disminuyó.
- Los valores del índice de consistencia del néctar de fruta 2 aumentaron con el incremento de la presión y de la concentración de estabilizante para todas las temperaturas.

- Para el néctar de fruta 3, no se observó efecto ni de la presión de homogenización, ni de la concentración de estabilizante sobre el índice de consistencia y el índice de comportamiento al flujo.
- Para los modelos agua-goma el índice de comportamiento al flujo aumentó con la temperatura, disminuyendo el índice de consistencia y el esfuerzo de cedencia.
- El índice de consistencia disminuye con el aumento de la temperatura en todos los néctares de fruta.
- Para el néctar de fruta 1 el índice de comportamiento al flujo aumenta con la temperatura.
- El índice de comportamiento al flujo es más sensible a la temperatura que el índice de consistencia y el esfuerzo de cedencia.
- La estabilidad de los néctares de fruta mejora con el proceso de homogenización.
- Para el néctar de fruta 1 no se observó un efecto significativo de la homogenización sobre la estabilidad del producto para altas concentraciones del estabilizante.
- Cuando se presenta el fenómeno de sinéresis no se puede determinar el porcentaje de sedimentación de las muestra.

## CAPÍTULO VI

### RECOMENDACIONES

En esta sección se presentan algunas recomendaciones realizadas a partir de los resultados obtenidos.

- Se recomienda el uso de una copa Ford o de una copa de viscosidad de cualquier marca con un orificio de descarga más pequeño, para las muestras de baja viscosidad.
- Realizar un análisis sensorial de los néctares de fruta en su fórmula completa luego de ser homogenizada, de manera de profundizar en el efecto de la homogenización sobre las características organolépticas de los néctares de fruta.
- Para el modelo agua-goma xantan, usar un equipo que permita apreciar el fenómeno de gelatinización a altas concentraciones de estabilizante para el perfil de temperaturas de 20, 65 y 90°C; por ejemplo un viscoamylograph.
- Realizar un estudio que permita determinar cual de los ingredientes que conforman el néctar de fruta 2 produce el comportamiento análogo de la viscosidad con la homogenización comparado al de las demás muestras estudiadas.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ALDERMAN N., CHENG C. (2004), “Non-Newtonian fluids: Guide to classification and characteristics”. London. ESDU. 36 p.
- APV invensys. “Homogenisers HandBook: Processing of emulsions and dispersions by homogenization”. 28 p.
- ASHURST P. R. (1999) “Producción y envasado de zumos y bebidas de frutas sin gas”, España. Editorial Acribia, S.A. 415p.
- BAIANU, Ion (1992). “Physical Chemistry of Food Processes: Fundamental Aspects”, Springer. 500 p.
- BARNES, H.A., HUTTON, J.F. and WALTERS, K. (1989), “*An Introduction To Rheology*”, New York. Elsevier Sciences. 212 p.
- BELIBAGLI K. y DALGIC A. (2007). “International Journal of Food Science & Technology”. Blackwell Synergy, Vol 42, p. 773 – 776.
- BENTLEY I and WILLAMS E. (1996). “Starch Conversion”, New York, Industrial Enzimology 2<sup>a</sup> Ed.
- BIRD R. (1987), “Dynamics of Polymeric Liquids”. New York. Ed. John Wiley & Sons. 458 p.
- BRICEÑO M. (200), “RHEOLOGY OF SUSPENSIONS AND EMULSION”. Universidad de los Andes, Mérida, Venezuela. 52 p. (Briceño, 2000)

- BROOKFIELD. (2000), “More solutions to sticky problems”. 53 p.
- CHHABRA R., RICHARDSON J. (1999), “Non-Newtonian Flow in the Process Industries: Fundamentals and Engineering Applications”, Gran Bretaña. Laser Words. 436 p.
- DAK M., VERMA R. Y JAAFFREY S. (2006). “Effect of temperature and concentration on Rheological properties of “Kesar” mango juice”. Science direct, Vol 80, p. 1011 – 1015.
- FITO P., CLEMENTE G. Y SANZ F. (1983.), “*Rheological behavior of tomato concentrate*”, Journal of Food Engineering., Vol. 2, p. 51 - 62.
- MACOSKO, C.W. (1994.), “*Rheology, Principles, Measurements And Applications*”, New York. VCH Publishers.
- MADRID A. y CENTENO M. (2000), “Los Aditivos en los Alimentos. Según la Unión Europea y la Legislación Española”, España. 1era Edición. AMV Ediciones 352p.
- MITSCHKA P. (1982), “Simple conversion of Brookfield R.V.T. readings into viscosity functions”, Prague. p. 207 - 209.
- MC DONALD, R. (1986.), “*Introducción a la mecánica de fluidos*”, 4ta Edición, Mc Graw Hill, México.
- MUÑOZ E., RUBIO L. y CABEZA M. (2000). “Modelo Predictivo del Comportamiento Reológico de Pulpas de Pera”. Artículos en Extenso del V Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos, VI p. 1 – 6.

- NORMA VENEZOLANA COVENIN 1030-95. “Jugos y Néctares. Características Generales”, Covenin. 1995.
- NORMA VENEZOLANA COVENIN 1151-77. “Frutas y Productos Derivados. Determinación de la Acidez”, Covenin. 1977.
- PETERSON M y JOHNSON A. (1974), “Encyclopedia of Food Technology”, Connecticut. The Avi Publishing Company, Inc. 993 p.
- PHILLIPS G., WEDLOCK D. and WILLIAMS P. (1982), “Gums and stabilisers for the food industry”, Michigan. Pergamon Press. 409 p.
- PIERCE, P. (1982), “*Rheological Measurements*”, New York. Ed. John Wiley & Sons.
- RAUWENDAAL C. (1988), “Mixing in Polymer Processing”, Munich, Hanser. 337 p.
- ROUDOT, A. (2004), “*Reología y análisis de la textura de los alimentos*”. Zaragoza, España. Editorial Acribia, S.A. 210 p.
- SENGUL M. y ERTUGAY M. (2003). “Rheological, physical and chemical characteristics of mulberry”. Science direct, Vol. 16, p. 73 – 76.
- STEFFE, J. (1992), “*Rheological Methods in Food Process Engineering*”, USA. Ed. Pergamon Press. 428 p.
- STREETER, Víctor L. (1968), “Mecánica de los Fluidos”, México. 4ta Edición, Mc Graw-Hill. 747 p.

- TETRAPAK (2001), “TetraPak: Homogenisers”. 22 p.
- TRINIDAD, M. y ROSALES, R. (2001). “Elaboración de Néctar”. Lima, CIED. 49 p.
- VISCO Technologies. <http://www.visco.co.za/cgi-bin/viscCalc.cgi>
- WHITE F., (1979), “Mecánica de Fluidos”, Mexico. McGraw-Hill. 753 p.
- WHORLOW, R.W. (1992), “*Rheological Techniques*”, USA. Ed. John Wiley and Sons.
- WOYZECHOWSKY, L., (2002). “*Estudio de reología y transformación del almidón de maíz en un reómetro capilar*”. Trabajo de Grado presentado a la Universidad Simón Bolívar. 99 p.
- ZOBEL H., (1992). “Starch granule structure”. Minnesota, U.S.A., The American Association of Cereal Chemistry.

## GLOSARIO

### **Modelo agua-goma**

El modelo agua-goma es un modelo alimentario utilizado para simplificar los estudios y análisis que se realicen sobre productos cuyas fórmulas originales son mucho más complejas. Para este caso en particular, el modelo consta de dos ingredientes principales, agua y estabilizante, y tienen como propósito facilitar los análisis que se realizarían sobre los néctares de fruta.

### **Sicorreología**

Es la rama de la psicofísica relacionada con la percepción sensorial de las propiedades reológicas de los alimentos. Es también la ciencia que se interesa por las relaciones que existen entre las preferencias de los consumidores y las propiedades reológicas de los alimentos (Roudot, 2004).

### **Sinéresis**

Rompimiento de la estructura del gel que produce liberación de líquido (agua), y como consecuencia pérdida de la elasticidad por parte del mencionado gel (Baianu, 1992).

### **Calidad organoléptica**

Es considerada como el carácter hedónico del alimento. Es un elemento que puede ser primordial en la elección del consumidor, ya que esta ligada al conjunto de características físicas que tienen los alimentos en general, como por ejemplo su sabor, textura, olor y color. Este elemento tiene una parte ligada a la psicología y la cultura del individuo que no es posible normalizar, pero únicamente intentar obtener una buena adecuación entre el producto y lo esperado por el consumidor (Roudot, 2004).

## **Gelatinización**

A temperatura ambiente los gránulos de almidón son insolubles en agua, muy resistentes al ataque de enzimas amilolíticas y con muy poca capacidad de absorber agua (Bentley, 1996). Sin embargo, al calentar la solución acuosa, los gránulos comienzan una expansión lenta, pero reteniendo sus propiedades ópticas; este abultamiento es reversible hasta un punto en el cual el gránulo comienza a perder su birrefringencia y se produce una destrucción completa de su integridad cristalina (Zobel, 1988). Dentro de un rango de temperatura relativamente pequeño, todos los gránulos de almidón muestran este marcado cambio irreversible en sus propiedades, conociéndose este fenómeno como el proceso de gelatinización.