ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA Y AGROINDUSTRIA

DESARROLLO DE UN NUEVO ENSAYO INSTRUMENTAL DE REOLOGÍA PARA EVALUAR LA VISCOSIDAD EN MIEL DE PANELA Y JARABES DE AZÚCAR A DIFERENTES CONCENTRACIONES

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO AGROINDUSTRIAL

AUTOR: YUGSI CHANGOLUISA, EDWIN RAFAEL
ywin82@hotmail.com

DIRECTORA: LARA VALDÉZ NELLY VIOLETA
nlara.valdez@gmail.com

CODIRECTOR: ALDÁS PALACIOS MÁRIO ANIBAL
mario.aldas@epn.edu.ec

Quito, Junio 2014

© Escuela Politécnica Nacional (2014)
Reservados todos los derechos de reproducción

DECLARACIÓN

Yo, Edwin Rafael Yugsi Changoluisa, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

_____

Edwin Rafael Yugsi Changoluisa

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Edwin Rafael Yugsi Changoluisa, bajo mi supervisión.

Ing. Nelly Lara	Ing. Mario Aldás
DIRECTOR DE PROYECTO	**CODIRECTOR DE PROYECTO**

AUSPICIO

La presente investigación contó con el auspicio financiero del proyecto Fortalecimiento del Departamento de Nutrición y Calidad, número 2100527033, que se ejecutó en la Estación Experimental Santa Catalina del Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por regalarme paciencia, persistencia y sabiduría para llevar a cabo este proyecto.

A mi madre y hermano por su apoyo incondicional en todo momento.

A mi amada esposa que ha sido el pilar donde me sostengo en momentos difíciles y por sufrir y reír a mi lado en mis fracasos y victorias.

Agradezco de manera muy especial a la Directora de mi proyecto a la Ingeniera Nelly Lara, por su paciencia, compresión y gran ayuda en el desarrollo de este proyecto.

También quiero agradecer al Ingeniero Mario Aldás, Pedro Vásquez y Oswaldo Acuña por sus oportunos consejos.

Al personal del Departamento de Nutrición y Calidad del INIAP, Ing. Beatriz Brito, Dra. Susana Espín, Ing. Elena Villacrés, Dr. Armando Rubio.

A mis amigos Jorge, Byron, Sebastián, Sofía, Carlitos y a todas las personas que de alguna manera contribuyeron a la culminación de mi carrera profesional.

Este trabajo esta dedicado a:

Rafael Yugsi,
Mi padre que me guía desde el infinito.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

		PÁGINA
RESUMEN		**xv**
INTRODUCCIÓN		**xvii**
NOTACIONES		**xx**
1	**REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**	**1**
1.1	Propiedades reológicas de los alimentos	1
1.1.1	Antecedentes	1
1.1.2	Definición y fundamentos	1
1.1.3	Importancia de la reología en los alimentos	2
1.1.4	Comportamiento reológico de los alimentos	3
1.1.5	Instrumentos para medir propiedades reológicas	3
1.1.5.1	Instrumentos para medir propiedades reológicas de los alimentos sólidos	4
1.1.5.2	Instrumentos para medir propiedades reológicas en alimentos semisólidos y líquidos	7
1.1.6	Teoría de los fluidos	12
1.1.6.1	Fluidos newtonianos	13
1.1.6.2	Fluidos no newtonianos	15
1.1.6.3	Fluidos viscoelásticos	16
1.1.7	Viscosidad	17
1.1.7.1	Tipos de viscosidad	20
1.1.7.2	Medida de la viscosidad	20
1.1.7.3	Determinación de la viscosidad a través del viscosímetro de tubo capilar	21
1.1.8.	Efecto de la concentración y de temperatura sobre la viscosidad	25
1.2	Mieles y jarabes	26
1.2.1	Mieles	26
1.2.1.1	Miel de abeja	26
1.2.1.2	Miel de caña	27
1.2.1.3	Miel de panela	27
1.2.2	Jarabes	28
1.2.3	Propiedades reológicas de las mieles y jarabes	28
1.3	Propiedades instrumentales de las mieles y jarabes	29
1.3.1	Consistencia	30
1.3.2	Densidad	30
1.3.3	Actividad de agua de las mieles y jarabes	31
1.3.4	Conductividad eléctrica de las mieles y jarabes	32
2	**MATERIALES Y MÉTODOS**	**33**
2.1	Preparación de las muestras de miel de panela y jarabes de azúcar	33

2.1.1 Panela granulada y azúcar 33
2.1.2 Preparación de miel de panela y jarabes de azúcar 33
2.1.3 Manejo experimental de las mieles y jarabes 34
2.1.3.1 Hipótesis 35
2.1.3.2 Diseño experimental 35
2.1.3.3 Variables independientes 35
2.1.3.4 Tratamientos 36
2.1.3.5 Análisis de varianza 36
2.1.3.6 Relaciones de validación instrumental del ensayo 37

2.2 Medición de la viscosidad de miel de panela y jarabes de azúcar mediante el nuevo ensayo instrumental 37
2.2.1 Creación del proyecto para la ejecución del nuevo ensayo instrumental en el texturómetro TA-XT2i 38
2.2.1.1 Selección de condiciones de operación y accesorio 39
2.2.1.2 Calibración del equipo y fijación de parámetros 40
2.2.1.3 Creación de la macro 40
2.2.1.4 Selección de las unidades para el reporte de datos y resultados de las mediciones instrumentales 42
2.2.1.5 Calibración de sonda (émbolo) y ejecución del ensayo de medida de las fuerzas de compresión sobre miel de panela y jarabes de azúcar 42
2.2.2 Cálculo de la viscosidad 45

2.3 Medición de la consistencia de miel de panela y jarabes de azúcar mediante la prueba «Back Extrusion Rig» (A/BE) 46
2.3.1 Creación del proyecto para la ejecución de la medición de la consistencia de mieles y jarabes 46
2.3.2 Selección de condiciones de operación y accesorio 46
2.3.3 Calibración del equipo y fijación de los parámetros de trabajo 47
2.3.4 Creación de la macro 48
2.3.5 Selección de las unidades para el reporte de datos y resultados de las mediciones instrumentales 49
2.3.6 Calibración de sonda y ejecución del ensayo de medida de las fuerzas de compresión sobre miel de panela y jarabes de azúcar 49
2.4 Medición de viscosidad absoluta de miel de panela y jarabes de azúcar mediante los viscosímetros de tubo capilar Cannon-Fenske 50

2.5 Caracterización de las propiedades complementarias de las muestras de miel de panela y jarabes de azúcar 52
2.5.1 Determinación de la densidad 52
2.5.2 Determinación de la actividad de agua 52
2.5.3 Determinación de los sólidos totales 53
2.5.4 Determinación de la conductividad eléctrica 53

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN 54

3.1 Medición de la viscosidad de miel de panela y jarabes de azúcar mediante 54

el nuevo ensayo instrumental
3.1.1 Medición de esfuerzo, tiempo y área para miel de panela y jarabes de azúcar, en el texturómetro TA-XT2i 54
3.1.2 Conversión de unidades al sistema internacional 58
3.1.3 Cálculo de viscosidad por diferencia de presión 60

3.2 Medición de la consistencia de miel de panela y jarabes de azúcar mediante la prueba «Back Extrusion Rig» (A/BE) 64

3.3 Medición de viscosidad absoluta de miel de panela y jarabes de azúcar mediante los viscosímetros de tubo capilar Cannon-Fenske 68

3.4 Validación del nuevo ensayo instrumental 72
3.4.1 Análisis de varianza de las mediciones de viscosidad por efecto de la concentración de sólidos solubles y el tipo de muestra 72
3.4.2 Correlación de las mediciones instrumentales de viscosidad del nuevo ensayo en función de las mediciones de viscosidad absoluta y consistencia 75
3.4.2.1 Correlaciones de resultados totales 75
3.4.2.2 Correlaciones de resultados agrupados por tipo de muestra 81
3.4.2.3 Correlaciones de resultados agrupados por nivel de concentración de sólidos solubles 95

3.5 Caracterización de las propiedades complementarias de las muestras de miel de panela y jarabes de azúcar 99
3.5.1 Densidad 99
3.5.2 Actividad de agua 101
3.5.3 Conductividad eléctrica 102
3.5.4 Sólidos totales 104

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 106

4.1 Conclusiones 106

4.2 Recomendaciones 111

BIBLIOGRAFÍA 112

ANEXOS 120

ÍNDICE DE TABLAS

		PÁGINA
Tabla 1.1.	Viscosidades de fluidos conocidos	19
Tabla 1.2.	Medición de la firmeza, la consistencia, la cohesividad y la resistencia al flujo de muestras de miel de caña variedad POJ 28-78	30
Tabla 2.1.	Tratamientos producto de la combinación de los factores A y B	36
Tabla 2.2.	Esquema análisis de varianza (ADEVA)	37
Tabla 2.3.	Especificaciones de los viscosímetro tipo tubo capilar Cannon-Fenske, utilizado de acuerdo a la concentración de sólidos solubles presentes en las muestras	52
Tabla 3.1.	Datos de cinco determinaciones ejecutadas en el analizador de textura TA-XT2i para el tratamiento a_0b_1 (miel de panela a 20 °Brix)	56
Tabla 3.2.	Resultados promedios por replica de las mediciones efectuadas en el analizador de textura TA-XT2i para el tratamiento a_0b_1 (miel de panela a 20 °Brix)	57
Tabla 3.3.	Valores promedio* por tratamiento de las mediciones efectuadas en el analizador de textura TA-XT2i a 20 °C	57
Tabla 3.4.	Área bajo la curva, promedio y por replica, obtenida con el analizador de textura TA-XT2i 20 °C y expresada en unidades de viscosidad del sistema internacional	59
Tabla 3.5.	Diferencia de esfuerzo en unidades de presión del sistema inglés (lb*/pul^2) y del sistema internacional (Pa) para el tratamiento a_0b_1 (miel de panela a 20 °Brix) a 20 °C.	60
Tabla 3.6.	Parámetros considerados para la obtención de la viscosidad con la Ecuación 22 tratamiento a_0b_1 (miel de panela a 20 °Brix) por medición a 20 °C	62
Tabla 3.7.	Parámetros variables considerados para la obtención de la viscosidad con la Ecuación 22, tratamiento a_0b_1 (miel de panela a 20 °Brix) por réplica a 20 °C.	62
Tabla 3.8.	Diferencia de esfuerzos, caudal volumétrico y viscosidad promedio de miel de panela y jarabes de azúcar a diferentes concentraciones a 20 °C	63

Tabla 3.9.	Determinaciones instrumentales (TA-XT2i, accesorio «Back Extrusion Rig» (A/BE)) de firmeza, consistencia, cohesividad y resistencia al flujo del tratamiento a_0b_1 (miel de panela a 20 °Brix) a 20 °C	66
Tabla 3.10.	Mediciones instrumentales (TA-XT2i, accesorio «Back Extrusión Rig» (A/BE)) de firmeza, consistencia, cohesividad y resistencia al flujo del tratamiento a_0b_1 (miel de panela a 20 °Brix) a 20 °C, expresadas por réplica	66
Tabla 3.11.	Promedios globales* por tratamiento del ensayo de consistencia ejecutado en el analizador TA-XT2i con el accesorio «Back Extrusión Rig» (A/BE), a 20 °C	67
Tabla 3.12.	Tiempos de flujo a través del viscosímetro de tubo capilar Cannon-Fenske, gravedad específica y viscosidad absoluta a 20 °C, para las determinaciones de la primera réplica del tratamiento a_0b_1 (miel de panela a 20 °Brix)	69
Tabla 3.13.	Tiempos de flujo a través del viscosímetro de tubo capilar Cannon-Fenske, gravedad específica y viscosidad absoluta a 20 °C, por réplicas del tratamiento a_0b_1 (miel de panela a 20 °Brix)	69
Tabla 3.14.	Promedios globales por tratamiento de los resultados obtenidos con el método de la AOAC (AOAC, 2005a) mediante los viscosímetros Cannon-Fenske	70
Tabla 3.15.	Matriz de valores de las mediciones instrumentales de viscosidad, viscosidad por diferencia de esfuerzo instrumental, viscosidad absoluta y consistencia	73
Tabla 3.16.	Valores de viscosidad y consistencia de miel de panela y jarabes de azúcar según el tipo de muestra y concentración a 20 °C	74
Tabla 3.17.	Coeficiente de correlación, coeficiente de regresión, error estándar, probabilidad y modelos matemáticos de la regresión simple entre la viscosidad por área bajo la curva y la viscosidad absoluta	76
Tabla 3.18.	Coeficiente de correlación, coeficiente de regresión, error estándar, probabilidad y modelos matemáticos de la regresión simple entre la viscosidad calculada y la viscosidad absoluta	78
Tabla 3.19.	Valores de coeficiente de correlación, coeficiente de regresión, error estándar, el valor de P y las ecuaciones de los modelos que se ajustan a la regresión simple entre la Visc. TXT y Consistencia.	79
Tabla 3.20.	Valores de coeficiente de correlación, coeficiente de regresión, error estándar, el valor de P y las ecuaciones de los modelos que se ajustan a la regresión simple entre la Visc. Ecuación vs	80

Consistencia

Tabla 3.21. Coeficiente de correlación, coeficiente de regresión, error estándar, probabilidad y modelos matemáticos de la regresión simple entre la viscosidad por área bajo la curva y la viscosidad absoluta 82

Tabla 3.22. Coeficiente de correlación, coeficiente de regresión, error estándar, probabilidad y modelos matemáticos de la regresión simple entre la viscosidad calculada y la viscosidad absoluta 83

Tabla 3.23. Valores de coeficiente de correlación, coeficiente de regresión, error estándar, el valor de P y las ecuaciones de los modelos que se ajustan a la regresión simple entre la Visc. TXT y Consistencia 84

Tabla 3.24. Valores de coeficiente de correlación, coeficiente de regresión, error estándar, el valor de P y las ecuaciones de los modelos que se ajustan a la regresión simple entre la Visc. Ecuación vs Consistencia 85

Tabla 3.25. Coeficiente de correlación, coeficiente de regresión, error estándar, probabilidad y modelos matemáticos de la regresión simple entre la viscosidad por área bajo la curva y la viscosidad absoluta 86

Tabla 3.26. Coeficiente de correlación, coeficiente de regresión, error estándar, probabilidad y modelos matemáticos de la regresión simple entre la viscosidad calculada y la viscosidad absoluta 87

Tabla 3.27. Valores de coeficiente de correlación, coeficiente de regresión, error estándar, el valor de P y las ecuaciones de los modelos que se ajustan a la regresión simple entre la Visc. TXT y Consistencia 89

Tabla 3.28. Valores de coeficiente de correlación, coeficiente de regresión, error estándar, el valor de P y las ecuaciones de los modelos que se ajustan a la regresión simple entre la Visc. Ecuación vs Consistencia 90

Tabla 3.29. Coeficiente de correlación, coeficiente de regresión, error estándar, probabilidad y modelos matemáticos de la regresión simple entre la viscosidad por área bajo la curva y la viscosidad absoluta 91

Tabla 3.30. Coeficiente de correlación, coeficiente de regresión, error estándar, probabilidad y modelos matemáticos de la regresión simple entre la viscosidad calculada y la viscosidad absoluta 92

Tabla 3.31. Valores de coeficiente de correlación, coeficiente de regresión, error estándar, el valor de P y las ecuaciones de los modelos que se ajustan a la regresión simple entre la Visc. TXT y Consistencia 93

Tabla 3.32. Valores de coeficiente de correlación, coeficiente de regresión, 94

	error estándar, el valor de P y las ecuaciones de los modelos que se ajustan a la regresión simple entre la Visc. Ecuación vs Consistencia	
Tabla 3.33.	Valores promedio de las mediciones de viscosidad y consistencia del nivel 0 °Brix (agua destilada a 20 °C)	96
Tabla 3.34.	Valores de coeficiente de correlación, coeficiente de regresión, error estándar, el valor de P y las ecuaciones de los modelos Que se ajustan a la regresión simple entre la Visc. TXT vs Visc. Cannon a 20 °Brix	97
Tabla 3.35.	Valores de coeficiente de correlación, coeficiente de regresión, error estándar, el valor de P y las ecuaciones de los modelos que se ajustan a la regresión simple entre la Visc. TXT vs Visc. Cannon	98
Tabla 3.36.	Valores de coeficiente de correlación, coeficiente de regresión, error estándar, el valor de P y las ecuaciones de los modelos que se ajustan a la regresión simple entre la Visc. TXT vs Visc. Cannon	99
Tabla 3.37.	Densidad de miel de panela, jarabe de azúcar morena, azúcar blanca en función de la concentración	100
Tabla 3.38.	Actividad de agua, de miel de panela, jarabe de azúcar morena, azúcar blanca en función de la concentración	101
Tabla 3.39.	Conductividad eléctrica, de miel de panela, jarabe de azúcar morena, azúcar blanca en función de la concentración	103
Tabla 3.40.	Porcentaje de sólidos totales en las muestras de miel de panela, jarabe de azúcar morena, azúcar blanca en función de la concentración	104

ÍNDICE DE FIGURAS

		PÁGINA
Figura 1.1.	Texturómetro modelo TA-TX2i, conectado a un computador. INIAP, EESC, DNC	7
Figura 1.2.	Instrumentos para medir las propiedades reológicas divididos en dos categorías: a) tipo rotacional y b) tipo tubo	7
Figura 1.3.	Esquema básico de viscosímetro de presión variable	10
Figura 1.4.	Esquema básico del cono o embudo de flujo	11
Figura 1.5.	Clasificación de los fluidos	13
Figura 1.6.	Reograma de fluidos: Relación entre el esfuerzo cortante requerido para inducir el flujo a varias velocidades de corte	13
Figura 1.7.	a: Curva de fluidez y b: Curva de viscosidad; para fluidos newtonianos	15
Figura 1.8.	Esquema del perfil de velocidades de un líquido utilizado para definir la viscosidad	18
Figura 1.9.	a) Viscosímetro de vidrio de tubo capilar tipo Ostwald y; b) Viscosímetro de vidrio de tubo capilar tipo Cannon – Fenske	22
Figura 1.10.	Balance de fuerzas en una sección de un tubo capilar	22
Figura 2.1.	Secuencia empleada para la preparación de miel y jarabes de 20, 40, 60 % sólidos solubles	34
Figura 2.2.	Texturómetro TA-XT2i conectado al computador	37
Figura 2.3.	Accesorio utilizado para medir la viscosidad en miel de panela y jarabes de azúcar en el nuevo ensayo instrumental	39
Figura 2.4.	Forma de seleccionar la opción de unidades de medición en el Software	42
Figura 2.5.	Forma de seleccionar la opción Calibración de sonda	43
Figura 2.6.	Secuencia empleada para colocar la muestra a ser medida en el texturómetro TA-XT2i	44
Figura 2.7.	Ejemplo de reporte de resultados en forma de gráfico y tabla de una medición de las fuerzas de compresión en agua destilada	45

Figura 2.8.	Accesorio «Back Extrusión Rig» (A/BE), del texturómetro TA-XT2i	47
Figura 2.9.	Proceso que realiza el texturómetro TA-XT2i con el accesorio «Back Extrusión Rig» (A/BE), en la medición de consistencia	50
Figura 2.10.	Juego de viscosímetros de tubo capilar tipo Cannon Fenske	51
Figura 3.1.	Reporte de resultados con el texturómetro TA-XT2i: a) forma tabulada; b) forma gráfica de una medición del tratamiento a_0b_1 a 20 °C	55
Figura 3.2.	Relación entre el área bajo la curva y el porcentaje de sólidos solubles, en miel de panela y jarabes de azúcar a 20 °C	59
Figura 3.3.	Relación entre la viscosidad calculada con la Ecuación propuesta y la concentración de sólidos solubles en miel de panela y jarabes de azúcar	64
Figura 3.4.	a) Resultado en forma de tabla; b) Resultado en forma gráfica. de una medición del tratamiento a_0b_1 (miel de panela a 20 °Brix) a 20 °C, con el texturómetro TA-XT 2i con el accesorio «Back Extrusion Rig» (A/BE)	65
Figura 3.5.	Relación entre la consistencia y la concentración de sólidos solubles en miel de panela y jarabes de azúcar	68
Figura 3.6.	Relación directa entre la viscosidad absoluta y el porcentaje de sólidos solubles presentes en miel de panela y jarabes de azúcar a 20, 40 y 60 °Brix	71
Figura 3.7.	Densidad de miel de panela, jarabe de azúcar morena, jarabe a azúcar blanca en función de la concentración	100
Figura 3.8.	Actividad de Agua de miel de panela, jarabes de azúcar morena y jarabe de azúcar blanca en función de la concentración	101
Figura 3.9.	Conductividad eléctrica de miel de panela, jarabes de azúcar morena y jarabe de azúcar blanca en función de la concentración	102

ÍNDICE DE ANEXOS

	PÁGINA
ANEXO I Instrumentos para medir propiedades reológicas en alimentos sólidos	121
ANEXO II Composición nutricional de la materia prima para la elaboración de miel de panela y jarabes de azúcares	124
ANEXO III Cantidades requeridas de materia prima, agua y tiempo, requerido para elaborar miel de panela y jarabes de azúcar a diferente concentración	125
ANEXO IV Manual de operación del texturómetro TA-XT2i	126
ANEXO V Definición de los comandos utilizados en la macro para medir la viscosidad en miel de panela y jarabes de azúcar mediante el nuevo ensayo instrumental	131
ANEXO VI Ejemplos de los resultados en forma de tabla y gráfico reportados por el texturómetro TA-XT2i, en el nuevo ensayo instrumental reológico de mieles y jarabes	133
ANEXO VII Datos de las cinco determinaciones por réplica, reportados por el texturómetro TA-XT2i de miel de panela a diferentes concentraciones	143
ANEXO VIII Datos de las cinco determinaciones por réplica, reportados por el texturómetro TA-XT2i de jarabe de azúcar morena a diferentes concentraciones	149
ANEXO IX Datos de las cinco determinaciones por réplica, reportados por el Texturómetro TA-XT2i de jarabe de azúcar blanca a diferentes concentraciones	155
ANEXO X Valores por réplica de los promedios correspondientes a las cinco determinaciones de miel de panela y jarabes de azúcar a diferente concentración	161
ANEXO XI Diferencia de esfuerzo en unidades de presión del sistema inglés (lb*/pul^2) y del sistema internacional (Pa) de miel de panela a diferentes concentraciones	163
ANEXO XII Diferencia de esfuerzo en unidades de presión del sistema inglés (lb*/pul^2)	169

y del sistema internacional (Pa) de jarabe de azúcar morena a diferentes concentraciones

ANEXO XIII 175
Diferencia de esfuerzo en unidades de presión del sistema inglés (lb*/pul^2) y del sistema internacional (Pa) de jarabe de azúcar blanca a diferentes concentraciones

ANEXO XIV 181
Parámetros considerados para el cálculo de la viscosidad por diferencia de presión de miel de panela a diferentes concentraciones, según la Ecuación 19

ANEXO XV 187
Parámetros considerados para el cálculo de la viscosidad por diferencia de presión de jarabe de azúcar morena a diferentes concentraciones, según la Ecuación 22

ANEXO XVI 193
Parámetros considerados para el cálculo de la viscosidad por diferencia de presión de jarabe de azúcar blanca a diferentes concentraciones, según la Ecuación 22

ANEXO XVII 199
Valores promedios por réplica de: tiempo de duración del ensayo, caudal volumétrico y viscosidad

ANEXO XVIII 201
Determinaciones instrumentales (TA-XT2i, accesorio «Back Extrusion Rig» (A/BE)) de firmeza, consistencia, cohesividad y resistencia al flujo de miel de panela a diferentes concentraciones

ANEXO XIX 203
Determinaciones instrumentales (TA-XT2i, accesorio «Back Extrusion Rig» (A/BE)) de firmeza, consistencia, cohesividad y resistencia al flujo de jarabe de azúcar morena a diferentes concentraciones

ANEXO XX 205
Determinaciones instrumentales (TA-XT2i, accesorio «Back Extrusion Rig» (A/BE)) de firmeza, consistencia, cohesividad y resistencia al flujo de jarabe de azúcar blanca a diferentes concentraciones

ANEXO XXI 207
Resultados de la medición instrumental de consistencia, por réplica de miel de panela y jarabes de azúcar a diferentes concentraciones

ANEXO XXII 209
Tiempos de flujo a través del viscosímetro de tubo capilar Cannon-Fenske, gravedad específica de la muestra y viscosidad absoluta de miel de panela a

diferentes concentraciones

ANEXO XXIII 211
Tiempos de flujo a través del viscosímetro de tubo capilar Cannon-Fenske, gravedad específica de la muestra y viscosidad absoluta de azúcar morena a diferentes concentraciones

ANEXO XXIV 213
Tiempos de flujo a través del viscosímetro de tubo capilar Cannon-Fenske, gravedad específica de la muestra y viscosidad absoluta de jarabes de azúcar blanca a diferentes concentraciones

ANEXO XXV 215
Tiempos de flujo a través del viscosímetro de tubo capilar Cannon-Fenske, gravedad específica y viscosidad absoluta, por réplicas de miel de panela y jarabes de azúcar a diferentes concentraciones

ANEXO XXVI 217
Análisis de varianza para la viscosidad y consistencia en miel de panela y jarabes de azúcar en base al tipo de muestra y concentración

ANEXO XXVII 218
Correlación de las mediciones instrumentales de viscosidad (área bajo la curva) versus viscosidad absoluta en forma de tabla y gráfico

ANEXO XXVIII 219
Correlación de las mediciones instrumentales de viscosidad calculada por diferencia de esfuerzo instrumental versus viscosidad absoluta en forma de tabla y gráfico

ANEXO XXIX 221
Correlación de las mediciones instrumentales de viscosidad (área bajo la curva) versus consistencia en forma de tabla y gráfico

ANEXO XXX 222
Correlación de las mediciones instrumentales de viscosidad calculada por diferencia de esfuerzo instrumental versus consistencia en forma de tabla y gráfico

ANEXO XXXI 223
Correlación de las mediciones instrumentales de viscosidad (área bajo la curva) versus viscosidad absoluta en miel de panela en forma de tabla y gráfico

ANEXO XXXII 224
Correlación de las mediciones instrumentales de viscosidad calculada por diferencia de esfuerzo instrumental versus viscosidad absoluta en miel de panela en forma de tabla y gráfico

ANEXO XXXIII 225
Correlación de las mediciones instrumentales de viscosidad (área bajo la curva) versus consistencia en miel de panela en forma de tabla y gráfico

ANEXO XXXIV 226
Correlación de las mediciones instrumentales de viscosidad calculada por diferencia de esfuerzo instrumental versus consistencia en miel de panela en forma de tabla y gráfico

ANEXO XXXV 227
Correlación de las mediciones instrumentales de viscosidad (área bajo la curva) versus viscosidad absoluta en jarabe de azúcar morena en forma de tabla y gráfico

ANEXO XXXVI 228
Correlación de las mediciones instrumentales de viscosidad calculada por diferencia de esfuerzo instrumental versus viscosidad absoluta en jarabe de azúcar morena en forma de tabla y gráfico

ANEXO XXXVII 229
Correlación de las mediciones instrumentales de viscosidad (área bajo la curva) versus consistencia en jarabe de azúcar morena en forma de tabla y gráfico

ANEXO XXXVIII 230
Correlación de las mediciones instrumentales de viscosidad calculada por diferencia de esfuerzo instrumental versus consistencia en jarabe de azúcar morena en forma de tabla y gráfico

ANEXO XXXIX 231
Correlación de las mediciones instrumentales de viscosidad (área bajo la curva) versus viscosidad absoluta en jarabe de azúcar blanca en forma de tabla y gráfico

ANEXO XL 232
Correlación de las mediciones instrumentales de viscosidad calculada por diferencia de esfuerzo instrumental versus viscosidad absoluta en jarabe de azúcar blanca en forma de tabla y gráfico

ANEXO XLI 233
Correlación de las mediciones instrumentales de viscosidad (área bajo la curva) versus consistencia en jarabe de azúcar blanca en forma de tabla y gráfico

ANEXO XLII 234
Correlación de las mediciones instrumentales de viscosidad calculada por diferencia de esfuerzo instrumental versus consistencia en jarabe de azúcar blanca en forma de tabla y gráfico

ANEXO XLIII 235
Correlación de las mediciones instrumentales de viscosidad (área bajo la curva) versus viscosidad absoluta a 20 °Brix en forma de tabla y gráfico

ANEXO XLIV 236
Correlación de las mediciones instrumentales de viscosidad (área bajo la curva) versus viscosidad absoluta a 40 °Brix en forma de tabla y gráfico

ANEXO XLV 237
Correlación de las mediciones instrumentales de viscosidad (área bajo la curva) versus viscosidad absoluta a 60 °Brix en forma de tabla y gráfico

RESUMEN

El nuevo ensayo instrumental para evaluar la viscosidad en muestras de miel de panela, jarabe de azúcar blanca y jarabe de azúcar morena de 0, 20, 40 y 60 °Brix se llevó a cabo en el equipo analizador de textura TA-XT2i. El accesorio para las mediciones instrumentales del nuevo ensayo constó de: un conector de probetas, una probeta cilíndrica de aluminio de 35 mm de diámetro, una jeringuilla de vidrio de 10 mL y una botella de 250 mL, boca angosta como soporte de la jeringuilla. Todas las determinaciones y caracterizaciones fueron realizadas a 20 °C de temperatura.

La viscosidad de la miel de panela y jarabes de azúcar se determinó mediante el nuevo ensayo instrumental con base en dos criterios. El primero fue por lectura directa del área bajo la curva de esfuerzo, delimitada por el diferencial del esfuerzo sobre el émbolo de la jeringuilla y el tiempo de ejecución del ensayo. El segundo fue por cálculo de la viscosidad mediante la Ecuación que relaciona el diferencial de presión (esfuerzo) a caudal constante. En los dos casos, los resultados fueron obtenidos en unidades de viscosidad del sistema inglés y convertidos a (Pa s). La reproducibilidad se consideró aceptable con coeficientes de variación de hasta el 10%. La validación de los resultados del nuevo ensayo se analizó en función a la viscosidad absoluta obtenida con los viscosímetros de tubo capilar Cannon-Fenske y a la consistencia de las mieles y jarabes, determinada en el equipo analizador de textura con el accesorio «Back Extrusion Rig». Se analizaron las curvas de viscosidad y consistencia versus la concentración de sólidos solubles. Se realizó el análisis de varianza de los resultados de viscosidad y consistencia y se correlacionó la viscosidad derivada del nuevo ensayo frente a la viscosidad absoluta y la consistencia de la miel de panela y jarabes de azúcar.

Los valores obtenidos por el método de viscosidad absoluta (viscosímetro capilar) y los del nuevo ensayo instrumental (TA-XT2i) no fueron similares debido a la diferencia de la metodología y equipo utilizado. Sin embargo, la validez de las mediciones del nuevo ensayo se evidenció al graficar tanto, la viscosidad derivada del nuevo ensayo como la viscosidad absoluta y la consistencia en función de la

concentración. Las curvas resultantes presentaron tendencia exponencialmente creciente para todas las muestras de miel de panela y jarabes de azúcar. A través del análisis de varianza, se estableció que el nuevo ensayo generó mediciones significativamente diferentes, tanto entre tipos de muestras, como entre niveles de concentración de sólidos solubles. La validez de las mediciones de viscosidad por área bajo la curva fue comparable a la de viscosidad absoluta, así como al ensayo de consistencia con el accesorio «Back Extrusion Rig». En función a los datos globales y analizados independientemente por tipo de muestras, fue factible establecer correlaciones altamente significativas de los resultados de viscosidad del nuevo ensayo frente a la viscosidad absoluta y la consistencia. Adicionalmente, se estableció que los valores de densidad y actividad de agua variaron en función a la concentración de sólidos solubles, sin embargo estos fueron similares entre los tipos de muestra. Los valores de conductividad eléctrica fueron diferentes entre tipo de muestras; y el contenido de sólidos insolubles varió de acuerdo con el tipo de muestra.

INTRODUCCIÓN

Uno de los usos tradicionales de la panela a nivel de hogares y pequeños negocios es la elaboración de miel por dilución en agua hirviente de gránulos o bloques. La miel de panela tiene amplia aplicación para uso directo como ingrediente de una diversidad grande de postres, en la industria de alimentos y hasta en la farmacéutica. Es un producto natural y con muchos años de antigüedad en Ecuador como azúcar refinada (Restrepo, 2007). Sin embargo, la importancia de la miel de panela va más allá del ámbito ecuatoriano. En el mercado de Estados Unidos, se tiene una variedad de edulcorantes derivados de la industria azucarera que va desde el azúcar blanco hasta diferentes tipos de mieles o jarabes (C&H Sugar Company, 2007). En la Unión Europea, paulatinamente se espera reemplazar los edulcorantes obtenidos de la remolacha azucarera por los de caña de azúcar (Infoagro, 2008).

Al igual que en miel de abeja (Gómez *et al*., 2004) es necesario conocer el comportamiento reológico de la miel de panela, sin embargo no se dispone de información para este producto.

Han pasado cerca de 80 años desde los primeros enunciados de la reología, esta ciencia es un campo nuevo en algunas áreas de la industria, e interesante tema de investigación en ingeniería en alimentos, bioquímica y biotecnología, donde es de interés conocer la relación entre fuerzas ejercidas sobre un material y la deformación resultante como una función del tiempo (Vliet, 2001). Por lo tanto, la reología abarca los conceptos de elasticidad, viscosidad y plasticidad, así como, el estudio de los materiales desde gases hasta sólidos (Núñez *et al*., 2001).

Las propiedades reológicas de los alimentos fluidos son cuantificadas mediante parámetros, los cuales son necesarios para solucionar problemas que se presentan en varios aspectos que tienen relación con la obtención de un producto alimenticio como son: control de calidad, evaluación de la aceptación por el consumidor, evaluación de la consistencia, diseño de procesos y control, determinación de la estructura del alimento, así como los cambios fisicoquímicos

que ocurren durante el proceso de elaboración y almacenamiento. (Alvarado, 1996).

Los fluidos presentan un gran problema al momento de transportarlos por conductos cerrados (tuberías) ya que se producen pérdidas de energía cuya causa es la fricción que experimenta el fluido al desplazamiento, así como la fricción que se presenta entre el fluido y las paredes del conducto. En este aspecto, las mieles son mas viscosas que el agua a temperatura ambiente, por lo cual, al transportar estas sustancias pierden energía y en consecuencia fluyen a bajas velocidades. Por lo expuesto, el estudio de la viscosidad en este tipo de sustancias es fundamental y se interpreta como la propiedad que se opone al desplazamiento o transporte de los fluidos (Mantilla, *et al*., 2008).

Las diferentes metodologías para el análisis reológico de fluidos, descritas en la bibliografía (Singh y Heldman, 2009; Steffe, 1996) incluyen el uso de equipos costosos conocidos como reómetros. Otra alternativa viable de fácil aplicación y disponibilidad son los viscosímetros de tubo capilar utilizados para evaluar la viscosidad de cerveza (AOAC INTERNATIONAL, 2005), la reología de salsa de tomate (Tripaldi *et al*., 2007) y la viscosidad en miel de abeja (Singh y Heldman, 2009). Por lo tanto, estos principios y los descritos en otros métodos reológicos (Steffe, 1996) pueden ser aplicables para el desarrollo de un nuevo ensayo de medición en el equipo analizador de textura (Stable Micro Systems Ltd., 1997a).

Frente a esta problemática, se considera de importancia la adaptación de un nuevo ensayo instrumental de reología para el equipo analizador de textura TA-XT2i con la finalidad de medir parámetros que expliquen la viscosidad de miel de panela y jarabes de azúcar a diferentes concentraciones; cuyos resultados sean válidos y confiables. De esta manera este trabajo permitirá optimizar el uso del texturómetro mediante un nuevo ensayo instrumental validado para el control de calidad de mieles y jarabes.

Con lo mencionado anteriormente, la miel de panela puede tener oportunidad en el contexto mundial y alcanzar relevancia como ingrediente, en la medida que se

conozca aspectos de calidad como los relacionados a las propiedades reológicas del producto, en tal sentido, de la mano de los adelantos para potenciar los procesos y productos de la caña de azúcar, deben ir las pruebas instrumentales que permitan evaluar parámetros reológicos que ayuden a definir los niveles de viscosidad que alcanza la miel de panela a diferentes concentraciones.

En la presente investigación se desarrolló un nuevo ensayo instrumental reológico para mieles de panela y jarabes de azúcar a diferentes concentraciones.

Este trabajo contiene información relevante para el Departamento de Nutrición y Calidad de INIAP, empresas privadas que tengan un equipo analizador de textura y estén interesadas en optimizar su uso y para las personas interesadas en realizar futuras investigaciones en este equipo, ya que por su versatilidad presenta muchas opciones para determinar las propiedades reológicas en los alimentos.

El trabajo se viabilizó a través del contrato de Formación Profesional firmado entre El Estudiante de Preparación Técnica de Tesis y la Dirección de la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP para desarrollar la actividad: “Desarrollo de una nueva prueba instrumental de reología para evaluar la viscosidad en miel de panela y jarabe de azúcar a diferentes concentraciones”. Actividad formó parte del proyecto de Fortalecimiento del Departamento de Nutrición y Calidad, bajo la dirección de la Ingeniera Nelly Lara Valdez.

NOTACIONES

τ = Esfuerzo Cortante

γ = Velocidad de deformación de cizallamiento

μ = Viscosidad absoluta

"μ" = Viscosidad aparente

ν = Viscosidad cinemática

F = Fuerza

Y = Distancia

u = Velocidad constante

W = Dirección

A = Área

$\frac{\partial u}{\partial y}$ = Velocidad de deformación

ρ = Densidad

L = Longitud

R = Radio

P = Presión, fuerza por unidad de área

$\dot{V}$ = Flujo volumétrico

m = Masa

V = Volumen

a_w = Actividad de agua

(g*) = Gramos fuerza

(lb*) = Libras fuerza

(P/35) = Probeta cilindra de aluminio de 35 mm de diámetro

ΔP = Diferencia de esfuerzo o presión

R4 = Radio interno de la jeringuilla

°Brix = Porcentaje de sólido solubles presentes en una muestra

(LiCl) = Cloruro de lítio

(NaCl) = Cloruro de sodio

ADEVA = Análisis de varianza

Desv = Desviación estándar

CV = Coeficiente de variación

r = Coeficiente de correlación

R2 = Coeficiente de regresión

Y = Variable dependiente

X = Variable independiente

Ec. = Ecuación

a = Valor del intercepto de los valores estimados de los mínimos cuadrados

b = Valor de la pendiente de los valores estimados de los mínimos cuadrados

1 REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1.1 PROPIEDADES REOLÓGICAS DE LOS ALIMENTOS

1.1.1 ANTECEDENTES

La primera teoría acerca de la reología, se planteó en 1678 por Robert Hooke; y se fundamentaba en el siguiente principio: “Si se dobla la tensión, se dobla la deformación”. En función de este enunciado aparece la Ley de Hooke, misma que se empleó para estudios reológicos de sólidos. Ésta ley se basa en que si se aplica una fuerza sobre un cuerpo sólido, éste sufre una cierta deformación y que el valor de dicha deformación se mantendrá hasta que cese el esfuerzo aplicado. En 1687 Isaac Newton publica una hipótesis relacionada al estado de cizalladura o corte y planteada sobre la base de que la resistencia al deslizamiento de las partes de un líquido es proporcional a la velocidad con que se separan unas de otras dentro de dicho líquido. Por lo tanto, esta resistencia por falta de deslizamiento es lo que ahora se denomina “viscosidad” (Ramírez, 2006).

1.1.2 DEFINICIÓN Y FUNDAMENTOS

Reología, es la ciencia que estudia la deformación y flujo de materia (Sahin y Gülüm, 2009; Steffe, 1996; Alvarado, 1996). Esta definición también se puede expresar como el estudio de la relación entre el esfuerzo aplicado a un material y la deformación que sufre dicho material. Según esto, si un material se deforma pero no fluye cuando se aplica un esfuerzo, se tiene un material sólido, pero si el material fluye cuando se aplica un esfuerzo muy pequeño, entonces se trata de un fluido (Osorio, 2001). En una escala supuesta, en un extremo está el sólido ideal y en el extremo opuesto está el fluido ideal, entonces se puede caracterizar a los sólidos y a los fluidos de acuerdo a la distancia con respecto a su estado ideal. Bajo dicha premisa, el comportamiento reológico de un fluido es caracterizado por la relación entre el esfuerzo de corte o cizalla requerido para inducir una

determinada tasa de deformación o velocidad de cizallamiento (Alvarado, 1996). Según lo anterior, se definen dos conceptos básicos para el estudio de reología. Uno es el esfuerzo de cizalla definido como la razón entre la fuerza aplicada y el área de aplicación. El otro concepto es la velocidad de cizallamiento definida como la variación en el fluido con relación a su respectiva variación en distancia (Osorio, 2001).

En función a los conceptos expuestos, la reología estudia las propiedades mecánicas de los líquidos, plásticos, sustancias asfálticas, materiales cristalinos y otros. Por lo tanto, el campo de la reología se extiende, desde la mecánica de fluidos newtonianos por una parte, hasta la elasticidad de sustancias sólidas de Hooke, por otra. La región intermedia corresponde a todos los tipos de materiales pastosos y suspensiones (Bird *et al*., 1998), donde se considera que la reología estudia la relación entre las fuerzas ejercidas sobre un material y la deformación resultante como una función del tiempo (Vliet, 2001).

1.1.3 IMPORTANCIA DE LA REOLOGÍA EN LOS ALIMENTOS

La reología de alimentos es como la ciencia de materiales de un alimento (Steffe, 1996). De ese modo, los datos reológicos son indispensables al evaluar la calidad del producto, en los cálculos de ingeniería y en el diseño de procesos (Sahin y Gülüm, 2009).

Hay numerosas áreas donde los datos de propiedades reológicas son necesarios; por ejemplo en el cálculo de requerimientos de bombeo; para establecer las dimensiones de tuberías y válvulas; para realizar mezclas. Se aprovechan para el control instrumental de materia prima, previo al procesamiento de productos intermedios, en la elaboración de un producto y en el seguimiento después de la producción. Sirven para evaluar la calidad preferida por el consumidor por medio de correlaciones entre las medidas reológicas y pruebas sensoriales. Permiten elucidar la estructura o composición de alimentos y analizar los cambios estructurales que ocurren durante el proceso (Alvarado, 1996).

1.1.4 COMPORTAMIENTO REOLÓGICO DE LOS ALIMENTOS

Como muchos otros materiales, los alimentos con comportamiento viscoso corresponden a los líquidos ideales, los cuales fluyen a una determinada velocidad cuando se aplica un esfuerzo al material y mantienen su forma después de eliminar este esfuerzo. Los alimentos con comportamiento elástico son sólidos ideales, caracterizados por la deformación del material en cierta extensión al aplicar un esfuerzo y la recuperación de su forma original al momento de eliminar dicho esfuerzo. También, existe cierto tipo de alimentos ubicados en la región intermedia, es decir, que bajo ciertas condiciones se comportan como sólidos, y en otras, se comportan como líquidos (igual condición de presión y temperatura), lo único que varía es el tiempo en el cual ocurre el proceso, por lo tanto son dependientes del tiempo. Este tipo de alimentos son categorizados como viscoelásticos (Vliet, 2001).

Una forma para la delimitación del comportamiento reológico de los alimentos, se da mediante el número de Deborah. El número de Deborah se define como el cociente entre el tiempo de relajación, que caracteriza la fluidez intrínseca de un material, y la escala temporal característica de un experimento. Este valor puede ser usado como una medida del grado de viscoelasticidad. En la práctica, si el número de Deborah es > 1, se habla de un sólido elástico; si el número de Deborah es < 1, se habla de un líquido viscoso y para los materiales viscoelásticos, el número de Deborah se ha estimado desde 0,6 a 1 (Steffe, 1996; Osorio, 2001; Vliet, 2001).

1.1.5 INSTRUMENTOS PARA MEDIR PROPIEDADES REOLÓGICAS

Según Steffe, 1996, las propiedades reológicas fundamentales, en teoría, deben ser independientes del instrumento de medición; es decir que si se usan instrumentos diferentes se debería tener resultados similares. Sin embargo, este es un concepto ideal porque instrumentos diferentes, raramente, dan resultados idénticos. Por lo tanto, la idea es como establecer las propiedades reológicas

verdaderas de los alimentos desde caracterizaciones instrumentales empíricas, obtenidas a través de una variedad de instrumentos con resultados empíricos.

Un ensayo instrumental siempre implica la combinación de un método de medida con una técnica de medición. Por lo tanto, la selección del método instrumental para determinar las propiedades reológicas de los alimentos debe estar fundamentada en varios aspectos como por ejemplo: el propósito de la medición; los parámetros de interés, las condiciones de operación, el equipo o instrumento disponible y el método de medida a utilizar. Además, en la definición del tipo de instrumento ideal para medir las propiedades reológicas fundamentales, es importante considerar el tipo de comportamiento reológico del material.

1.1.5.1 Instrumentos para medir propiedades reológicas de los alimentos sólidos

A menudo los alimentos sólidos son evaluados a través de equipos que se fundamentan en los principios de compresión, tensión y torsión (Steffe, 1996; Bourne, 2002). Entre los equipos más conocidos se incluyen:

Penetrómetros: Con este equipo se mide la fuerza requerida para introducir en el alimento un determinado accesorio a una profundidad dada. La prueba instrumental es de carácter destructiva y entre los tipos de accesorios utilizados se tiene: vástago cilíndrico, aguja, cono o bola (Bourne, 2002).

Extrusímetros: Estos equipos se los utiliza como índice de la calidad textura de líquidos muy viscosos, geles, mermeladas para untar, pastas cárnicas, frijoles enlatados. El equipo registra automáticamente la fuerza requerida para extrudar la muestra cuando esta es forzada a pasar a través de un orificio de 1/8 pulgadas de diámetro, a velocidad constante (De Hombre y Díaz, 2001).

Consistómetro de Bostwick: Es muy utilizado en la medida de la consistencia de alimentos semisólidos como purés de tomates y salsas de tomate tipo “Catsup”, purés de frutas y hortalizas, mermeladas no gelificadas, y todo tipo de

alimento que sea excesivamente viscoso para ser medido en un viscosímetro. El instrumento consiste de una bandeja alargada de acero inoxidable con una base de 29 cm de longitud y 5 cm de ancho. La altura de la pared es de 3,8 cm, la cubeta donde se deposita la muestra es de 5 cm de longitud y está separada del resto por una plancha de guillotina. El resto del fondo de la bandeja es de 24 cm de longitud, tiene una escala graduada formada por líneas transversales y separación entre líneas de 0,5 cm (Steffe, 1996).

Farinógrafos: Este instrumento consta de las siguientes partes esenciales: un recipiente de amasado con camisa atemperada, disponible para 50 y 300 g de capacidad de harina, equipado con 2 palas de amasado, diseñadas en z para giran en sentido opuesto a 60 y 90 rpm. La amasadora está conectada a un dinamómetro que oscila libremente cuyos movimientos son transferidos por un sistema de palanca, que está equipado con un lubricador de aceite. Tiene una báscula y un sistema de registro de la señal del farinógrafo. El recipiente de la amasadora y el lubricador de aceite se mantienen a temperatura constante mediante la circulación de agua de un termostato controlado por un termorregulador. Cuando la harina y los otros ingredientes secos se introducen en el recipiente de la amasadora, la máquina se pone en marcha, a la vez que, rápidamente, se añade la cantidad de agua necesaria para formar la masa de una consistencia determinada (Durán *et al*., 2001).

Alveógrafos: Es un instrumento diseñado para medir la fuerza del gluten de trigo mediante la resistencia a la expansión y la extensibilidad de una capa fina de masa. Consta de: amasadora de pala, el alveógrafo propiamente dicho y un manómetro con registro (Steffe, 1996).

Amilógrafos: Este instrumento es básicamente un viscosímetro de torsión con registro y copa rotatoria, que mide y registra la viscosidad aparente a temperaturas determinadas o a temperaturas que aumentan uniformemente. En esencia, consiste de un recipiente giratorio con control de temperatura de 500 mL de capacidad. La muestra es calentada a temperatura constante y puede ser una suspensión de harina o almidón. El recipiente gira a 75 rpm, contiene ocho

vástagos verticales fijos que se contraponen con los siete vástagos del elemento sensor suspendido, que se sumerge en la muestra de ensayo (Durán *et al.*, 2001).

Los instrumentos para medir propiedades reológicas en alimentos sólidos, mencionados anteriormente se ilustran en el Anexo I.

Medidores universales: La máquina Instron es uno de los instrumentos universales más populares; con ésta se pueden realizar estudios de propiedades de esfuerzo versus deformación de los materiales. Puede ser utilizada para realizar pruebas convencionales de tensión, compresión, penetración, cizallamiento, extrusión o doblado (Bourne, 2002).

De acuerdo a De Hombre y Díaz, 2001 y Stable Micro System Ltd., 1997a; otro medidor universal, que en los últimos años ha tenido gran acogida, entre los especialistas y las industrias de alimentos, es el equipo analizador de textura de la firma Stable Micro Systems (SMS).

Como se observa en la Figura 1.1, su diseño es compacto, ligero, y de pequeñas dimensiones. Este nuevo medidor de textura presenta algunas opciones de celda de carga y múltiples accesorios (probetas) para diversos tipos de ensayos, tanto de tensión, compresión, corte como de extrusión de muestras sólidas y semisólidas del tipo: pastas, quesos, frutas, mermeladas, geles, salsas, yogures, entre otros.

Cuenta además con un software para la cuantificación de la fuerza y/o el esfuerzo expresados en términos, por ejemplo, de los parámetros de textura, fatiga cíclica, relajación de esfuerzo y otras propiedades mecánicas. El software permite tabular y graficar los datos de varias mediciones para la comparación de resultados. La información puede ser impresa o trasferida al sistema Windows.

Una ventaja interesante, es el sistema de mensajes para aviso en el caso de errores, lo cual permite revisar las condiciones de operación fijadas y solucionar el problema.

Figura 1.1. Texturómetro modelo TA-TX2i, conectado a un computador (INIAP, EESC, DNC)

1.1.5.2 Instrumentos para medir propiedades reológicas en alimentos semisólidos y líquidos

En el caso de alimentos semisólidos y líquidos, los instrumentos comunes, capaces de medir propiedades reológicas fundamentales están considerados en dos categorías: los del tipo rotacional y los de tipo tubo, como se observa en la Figura 1.2.

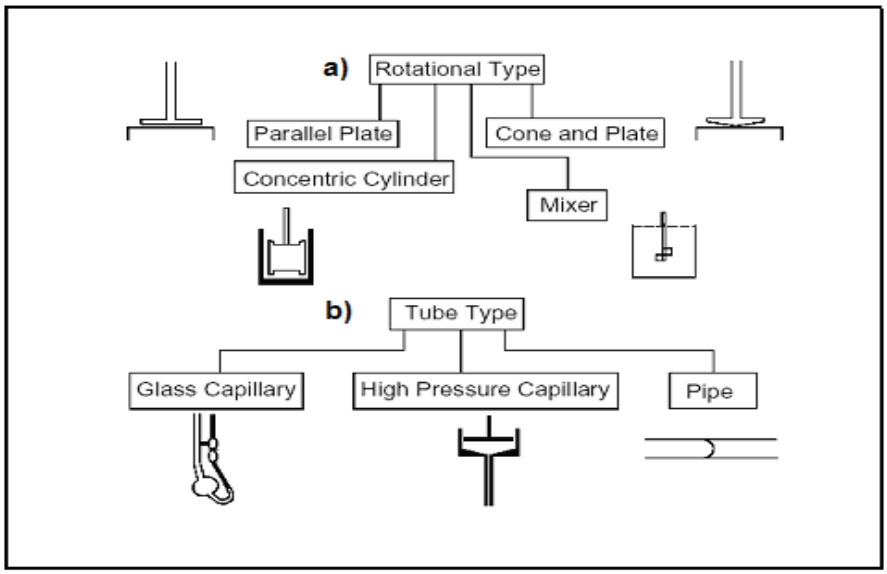

Figura 1.2. Instrumentos para medir las propiedades reológicas divididos en dos categorías: a) tipo rotacional y b) tipo tubo (Steffe, 1996)

La mayoría están disponibles comercialmente y otros pueden ser fácilmente fabricados. El costo varía grandemente, desde los viscosímetros de tubo capilar hasta los instrumentos rotacionales, muy caros, capaces de medir propiedades dinámicas por efecto de variaciones en la fuerza de tensión o compresión. Los instrumentos para medir propiedades reológicas son conocidos como reómetros. En cambio, el término viscosímetro está limitado a las unidades para medir únicamente viscosidad (Steffe, 1996).

Viscosímetro rotacional: Debido a las limitaciones al flujo, presentadas por los alimentos semisólidos o de mayor consistencia, los sistemas rotacionales son generalmente usados para investigar el comportamiento de los fluidos dependientes del tiempo (Steffe, 1996). En el viscosímetro rotacional, el líquido a medir es cizallado entre las dos partes del cuerpo de medición compuesto por cilindros coaxiales rotatorios, un cono y una placa o dos placas paralelas. Una ventaja de este tipo de reómetros es que para una geometría de medición bien conocida, la deformación en cizalla y la velocidad de deformación son aproximadamente uniformes en la pieza de ensayo. Otra ventaja es que la muestra se puede cizallar tanto como se desee y permite el estudio del comportamiento dependiente del tiempo. En este tipo de equipos es posible llevar a cabo, ensayos a velocidad de deformación constante y ensayos a esfuerzo constante (Vliet, 2001).

De acuerdo con Steffe, 1996, los viscosímetros rotacionales pueden operar a velocidad angular constante o de modo dinámico oscilatorio para analizar el fenómeno de viscoelasticidad. Estos equipos son muy útiles para trabajar con fluidos no newtonianos. El costo de estos equipos es alto y muy variable, depende de factores como el número de accesorios. Entre los sistemas rotacionales se tienen: viscosímetros rotacionales de abertura estrecha y abertura ancha o cilindro simple, viscosímetros de cono y placa, viscosímetros de placa paralelas de flujo torsional y viscosímetros de mezclado con aletas tipo bandera o paletas.

Viscosímetros de bola: Estos son los equipos más simples de medida, pueden ser de caída vertical y de rodamiento, es decir, una esfera rueda por la pared de

un cilindro inclinado que contiene el fluido. En estos equipos se mide la velocidad de desplazamiento de una esfera a través de un medio viscoso (Alvarado y Aguilera, 2001).

Viscosímetro tipo tubo: La viscosimetría de tubo es un método muy exacto para la determinación de la viscosidad de fluidos newtonianos. Los viscosímetros de tubo, son muy utilizados debido a que son baratos, fáciles de utilizar y de termostatizar. Específicamente, los viscosímetros capilares son adecuados para valorar los líquidos normalizados o estándares que se van a utilizar en la calibración de instrumentos rotacionales o reómetros (Vliet, 2001).

Ejemplos ampliamente conocidos de viscosimetría tubular para líquidos newtonianos son los viscosímetros de vidrio Ostwald y Cannon-Fenske, esencialmente, constituidos por dos bulbos conectados por un capilar con enraces inicial y final en el primer bulbo. La gravedad es la fuerza que actúa para que un volumen de líquido, exactamente conocido, fluya a través del capilar en un tiempo determinado. El tiempo establecido permite el cálculo directo de la viscosidad cinemática al multiplicar por una constante que depende de la geometría del viscosímetro; de este modo, si se conoce la viscosidad cinemática es factible obtener la viscosidad absoluta al multiplicar por la densidad del líquido (Vliet, 2001). Con base al tiempo establecido a 20 °C, en este tipo de viscosímetros, también, es posible determinar la viscosidad absoluta, al considerar la gravedad específica del líquido y la viscosidad del agua a 20 °C (AOAC, 2005a).En el caso de fluidos no newtonianos, a través de un viscosímetro capilar, tipo embudo de vidrio, es factible determinar la viscosidad o consistencia aparente de néctares y productos de jugos de fruta. Este viscosímetro puede ser fabricado fácilmente de acuerdo a las dimensiones y los ángulos de inclinación especificados. Tanto, el agua para la calibración a 24 °C ± 2 °C, como la muestra fluyen por gravedad. El tiempo que demora el fluido en pasar por la sección capilar es considerado para el cálculo de la viscosidad (AOAC, 2005b).

Una variación de la viscosimetría capilar, citada por varios autores para fluidos de mayor consistencia, está esquematizada en la Figura 1.3 y se fundamenta en la

aplicación de una fuerza diferente a la gravedad para impulsar el líquido, que puede ser, la presión de un gas, un pistón, una bomba de flujo constante (Singh y Heldman, 2009; Bourne, 2002; Vliet, 2001; Steffe, 1996) o el esfuerzo derivado de la fuerza o peso ejercido sobre un volumen conocido de muestra (Tripaldi *et al*., 2007). De esta forma se determina el caudal de un material debido a un gradiente de presión conocido o de forma inversa desde un caudal conocido se determina el gradiente de presión (Vliet, 2001).

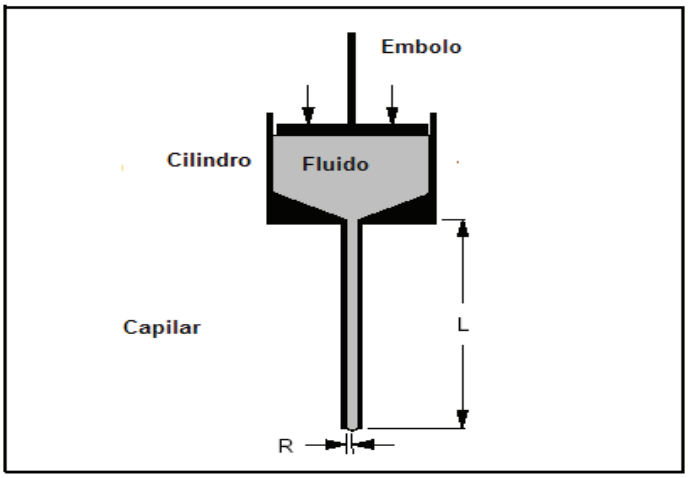

Figura 1.3. Esquema básico de viscosímetro de presión variable (Steffe, 1996)

Cono de flujo: Según Vliet, 2001, otra variación de los viscosímetros de tubo, es el cono de flujo. En este tipo de ensayo, el esfuerzo y la deformación no han sido estudiadas suficientemente. Debido a ello, el cono de flujo es considerado un método empírico de ensayo, lo que ha hecho difícil el cálculo de los parámetros reológicos fundamentales. Sin embargo, como todo ensayo empírico puede ser de gran valor siempre que cumpla los siguientes principios:

- Medición de una propiedad mecánica relevante o algún parámetro relacionado con ella

- La escala de tiempo coherente con el problema estudiado en el ensayo

- Mediciones reproducibles en lo que concierne a manejo de muestra y ejecución del ensayo

El cono o embudo de flujo, como se puede observar en la Figura 1.4, es un instrumento muy sencillo conocido de varias maneras tales como: copa Ford, embudo Marsh, copa de consistencia y embudo Posthumus. El instrumento consiste de un recipiente circular con un extremo cónico en el que existe un orificio que conduce a un tubo pequeño. El recipiente tiene una marca superior y una inferior para establecer el tiempo en el cual un volumen conocido de líquido sale del recipiente. De forma similar a los viscosímetros capilares de vidrio, el tiempo requerido para que una cierta cantidad de líquido fluya a través de las marcas del embudo es determinado y la fuerza impulsora del flujo puede ser la gravedad. Sin embargo, debido a que el tubo de salida es corto o incluso no existe, el flujo se considera mayormente convergente a través del cono. En este caso la resistencia frente al flujo puede tener un fuerte componente elongacional (Vliet, 2001).

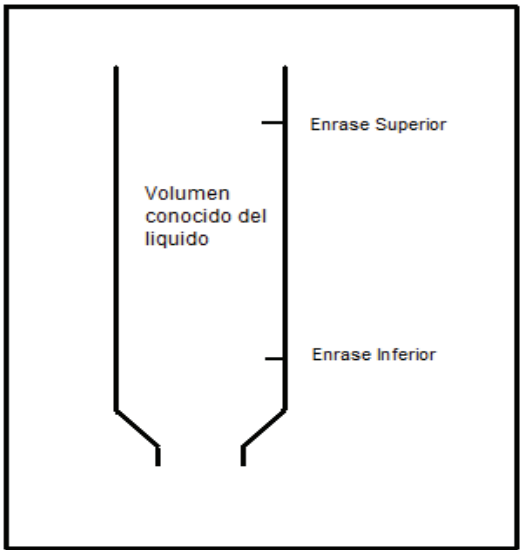

Figura 1.4. Esquema básico del cono o embudo de flujo (Vliet, 2001)

El componente de cizalla será cero en el centro del embudo y tendrá un máximo en las paredes. Los caudales disminuirán a medida que el embudo se vacía. Bajo las condiciones descritas, es muy complicado establecer el modelo de flujo. En este tema se requiere mayor investigación, especialmente, porque la presencia de un fuerte componente elongacional es una ventaja si se quiere predecir la percepción de los fluidos alimenticios en la boca. El flujo en la boca, también, tiene un fuerte componente elongacional. Por lo tanto, en vez de un viscosímetro

rotacional caro, el cono de flujo puede ser de mayor utilidad para predecir la percepción de los consumidores frente a un alimento líquido o semisólido. Como un adelanto en este tema se puede considerar el uso de una jeringuilla de vidrio de 3 mL de capacidad. El fluido es empujado gracias a una presión mecánica, en lugar de la presión que ejerce la gravedad. Sin embargo, el desplazamiento del fluido es evaluado en la sección graduada de la jeringuilla (volumen constante) y de esta manera, el comportamiento de los fluidos es determinado a esfuerzo (presión) variable (Vliet, 2001; Tripaldi *et al*., 2007).

1.1.6 TEORÍA DE LOS FLUIDOS

Se entiende como fluido a la sustancia que comienza a fluir o deformarse continuamente cuando se aplica sobre él una fuerza, y la velocidad de deformación es proporcional a la fuerza aplicada, en este caso no existe recuperación cuando se retira la fuerza aplicada. Cuando una fuerza actúa perpendicularmente sobre la superficie se denomina presión y cuando la fuerza actúa paralelamente a la superficie se denomina esfuerzo cortante. Los diferentes fluidos presentan diferentes grados de resistencia a la tensión aplicada. La viscosidad es la propiedad del líquido, que define la magnitud de la resistencia a fluir cuando se le aplica una tensión; la propiedad del líquido es la que más influye en las características de flujo (Singh y Heldman, 2009).

De acuerdo con Osorio (2001), los tipos de fluidos considerados en la reología son de tres tipos como se observa en la Figura 1.5.

En la Figura 1.6, reportada por Sahin y Gülüm (2009), se da una visión general de las relaciones básicas simples entre el esfuerzo y la velocidad de deformación que se puede observar para varios alimentos en la circunstancia de una deformación por cizalla. Sin embargo, cuando el comportamiento mecánico de un producto es estudiado en un amplio intervalo de velocidades de cizalla o deformación, en la práctica se podría tener una combinación de dos o más de estas relaciones reológicas básicas (Vliet, 2001).

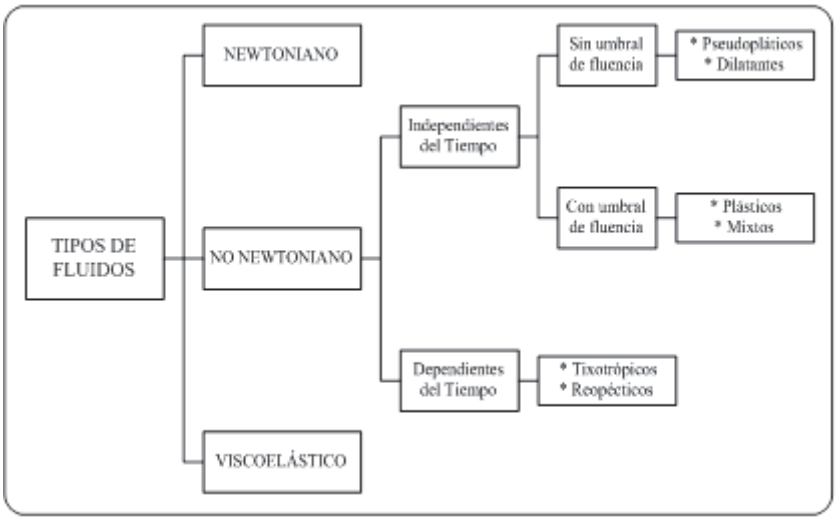

Figura 1.5. Clasificación de los fluidos (Osorio, 2001)

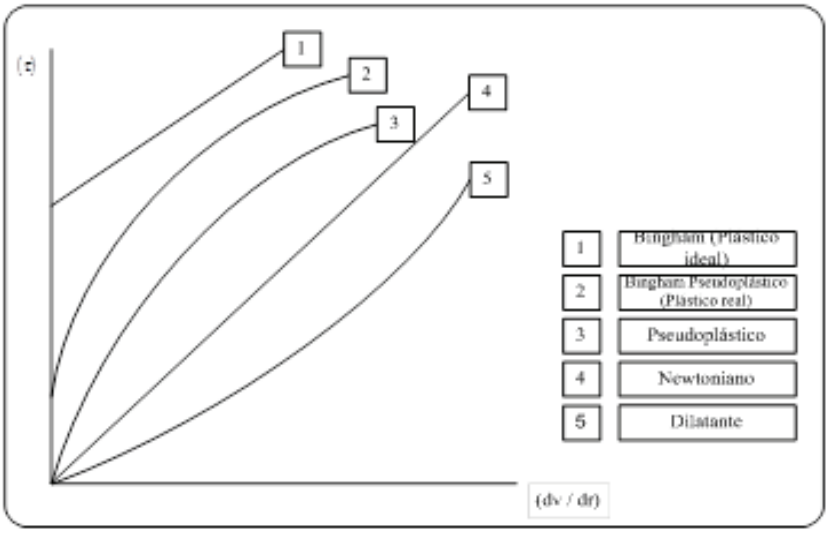

Figura 1.6. Relación entre el esfuerzo cortante requerido para inducir el flujo a varias velocidades de corte (Sahin y Gülüm, 2009)

1.1.6.1 Fluidos newtonianos

La curva 4 de la Figura 1.6, ilustra la relación de un líquido viscoso lineal denominado newtoniano y la viscosidad viene dada por la pendiente de la curva. Los fluidos newtonianos poseen las propiedades de flujo más simples dentro del rango de flujo laminar (Bourne, 2002). Un fluido newtoniano se caracteriza por cumplir la ley de Newton, es decir, existe una relación lineal entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación (Sahin y Gülüm, 2009; Alvarado, 1996).

La viscosidad newtoniana considerada en las Ecuaciones 1 y 2, es constante y no depende del esfuerzo cortante aplicado, además es independiente del tiempo de aplicación de un esfuerzo, pero es influenciada por la temperatura y la presión (Sahin y Gülüm, 2009; Singh y Heldman, 2009). Los típicos fluidos newtonianos son agua, cerveza, jarabes de azúcar, muchos tipos de mieles, jugos filtrados, leche (Bourne, 2002), té y dispersiones diluidas de partículas esféricas (Vliet, 2001).

$$\tau = \mu \frac{dv}{dy} = \mu \times \dot{\gamma} \qquad [1]$$

ó

$$\mu = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \qquad [2]$$

Donde:

μ: es la viscosidad newtoniana (mPa*s)
τ: es el esfuerzo cortante (mPa)
$\dot{\gamma}$: es la velocidad de deformación de cizallamiento (s^{-1})

Para entender mejor el comportamiento de este tipo de fluidos, se presenta la Figura 1.7 con las curvas de fluidez (a) y de viscosidad (b). En la curva de fluidez se tiene el esfuerzo cortante versus la velocidad de deformación *(τ* vs *$\dot{\gamma}$)*, mientras que en la curva de viscosidad se tiene la viscosidad en función de la velocidad de deformación *(μ* vs *$\dot{\gamma}$)* (Ramírez, 2006; Bregni, 1998).

En la curva de fluidez se observa que el valor de la viscosidad (μ) es la tangente del ángulo que se forma entre esfuerzo de corte y la velocidad de deformación, la cual es constante para cualquier valor aplicado. En la curva de viscosidad se muestra que esta propiedad es constante para cualquier velocidad de deformación aplicada (Ramírez, 2006).

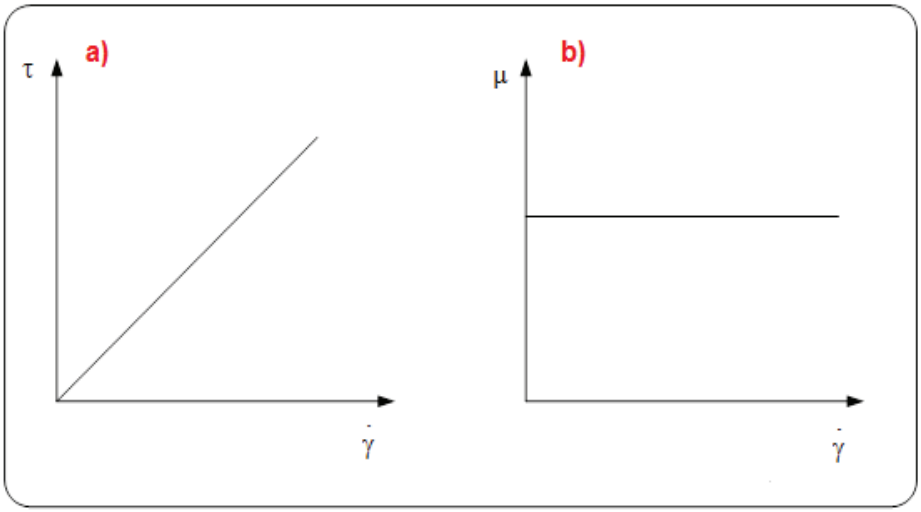

Figura: 1.7. a) Curva de fluidez y b) Curva de viscosidad; para fluidos newtonianos (Bregni, 1998)

1.1.6.2 Fluidos no newtonianos

Los fluidos no newtonianos son aquellos en los cuales, la relación entre esfuerzo cortante y la velocidad de deformación no es lineal (Ramírez, 2006). Según la división esquemática de Osorio (2001), reportada en la Figura 1.5, estos fluidos pueden ser dependientes e independientes del tiempo. A su vez, la diferenciación en el comportamiento reológico, entre fluidos no newtonianos está esquematizada mediante la comparación de las curvas: 1 (Bingham), 2 (Bingham Pseudoplástico), 3 (Pseudoplástico) y 5 (Dilatante) de la Figura 1.6.

Fluidos no newtonianos independientes del tiempo: Estos fluidos se pueden clasificar según si tienen o no esfuerzo umbral, es decir, si necesitan un mínimo valor de esfuerzo cortante para que el fluido se ponga en movimiento (Hermida, 2000).

- *Fluidos sin esfuerzo umbral:* Este tipo de fluidos se dividen en: Fluidos pseudoplásticos (Shear-Thinning), los cuales se caracterizan por la disminución de la viscosidad, y del esfuerzo cortante, con relación a la velocidad de deformación (Alvarado, 1996), ejemplos de este tipo de fluido son: algunos tipos de ketchup, mostaza, algunas clases de pinturas,

suspensiones acuosas de arcilla, etc. (Ramírez, 2006). Los fluidos dilatantes (Shear-Thickening) son suspensiones en las que se produce un aumento de la viscosidad con la velocidad de deformación, es decir, un aumento del esfuerzo cortante con dicha velocidad. Ejemplos notables de este tipo de fluidos son: arena mojada y soluciones concentradas de almidón (Alvarado, 1996; Ramírez, 2006).

- *Fluidos con esfuerzo umbral:* Conocidos como fluidos plásticos (viscoplásticos), este tipo de fluido se comporta como un sólido hasta que se sobrepasa un esfuerzo cortante mínimo (esfuerzo umbral) y a partir de dicho valor se comporta como un fluido (Alvarado, 1996). Los fluidos plásticos, se diferencian entre sí por la proporcionalidad entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación. Si hay proporcionalidad, se designan como fluidos plásticos de Bingham, caso contrario se los clasifica como plásticos reales. (Ramírez, 2006).

- *Fluidos no newtonianos dependientes del tiempo:* Dentro de esta clase de fluidos se consideran dos tipos. Los primeros, fluidos tixotrópicos, en los cuales la viscosidad disminuye al aumentar el tiempo de aplicación del esfuerzo cortante, y recupera su estado inicial después de un reposo prolongado (Hermida, 2000; Alvarado, 1996); algunos ejemplos de este tipo de fluido son las pinturas, el yogur, las tintas de impresión, entre otros. Los segundos, fluidos reopécticos, en los cuales la viscosidad aumenta con el tiempo de aplicación de la fuerza y vuelven a su estado anterior tras un tiempo de reposo (Hermida, 2000). Como ejemplos se tiene al yeso y la arcilla bentonítica, entre otros (Ramírez, 2006).

1.1.6.3 Fluidos viscoelásticos

Los fluidos viscoelásticos presentan propiedades viscosas y también elásticas. Las propiedades viscosas son propias de un fluido y la recuperación elástica parcial es característica de un sólido (Hermida, 2000). Esta mezcla de

propiedades puede ser debida a la existencia en el líquido de moléculas muy largas y flexibles o también a la presencia de partículas líquidas o sólidos dispersos; como ejemplos de fluidos viscoelásticos se tiene: nata, gelatina, helados y sangre coagulada (Ramírez, 2006).

1.1.7 VISCOSIDAD

La resistencia que presenta un fluido, al movimiento se denomina viscosidad; al expresarla en forma cuantitativa es el cociente entre el esfuerzo de cizallamiento y la velocidad de cizallamiento en el flujo estacionario (Alvarado y Aguilera, 2001).

La viscosidad es la propiedad del líquido que más influye en las características de flujo. Cuando un fluido es sometido a un esfuerzo cortante, este tiende a deformarse; es decir, fluye debido al incremento de la velocidad de flujo al aumentar la tensión ejercida. La viscosidad es la propiedad del fluido que define la resistencia al movimiento existente entre las capas internas del fluido (Singh y Heldman, 2009).

Para un mejor entendimiento de las fuerzas viscosas se presenta el típico ejemplo de colocar un fluido entre dos placas paralelas infinitas separadas por una distancia (Δy) (Singh y Heldman, 2009; Ramírez, 2006; Steffe, 1996). La placa superior se mueve paralelamente a la placa inferior que permanece estática a una velocidad constante (Δu) bajo la influencia de una fuerza aplicada (F), como se observa en la Figura 1.8.

Se puede observar que, entre las dos placas, el fluido se constituye por varias capas, cada una de ellas se mueve en la dirección *(W),* la capa superior de fluido en contacto con la placa se mueve a una velocidad *(u),* mientras que la siguiente capa inferior se mueve ligeramente más lento, así sucesivamente hasta llegar a la última capa inferior que se encuentra en contacto con la placa inferior. De este modo, se demuestra experimentalmente, que la magnitud de una fuerza, (F), es directamente proporcional a la velocidad (u) y al área de la superficie, (A), de la

placa, pero es inversamente proporcional a la separación entre las dos placas (Y) (Singh y Heldman, 2009).

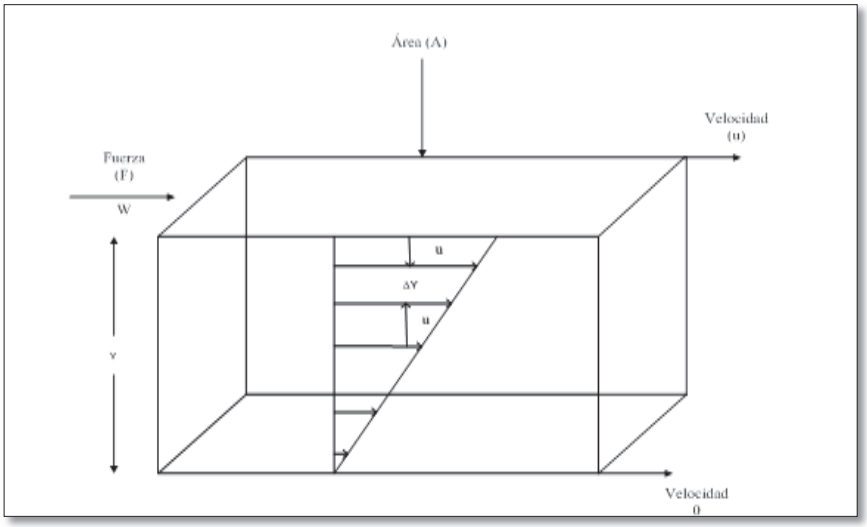

Figura 1.8. Esquema del perfil de velocidades de un líquido utilizado para definir la viscosidad (Singh y Heldman, 2009; Steffe, 1996)

Lo expuesto anteriormente se expresa en la Ecuación 3

$$F \propto A\frac{u}{Y} \qquad [3]$$

En la Ecuación 4 se obtiene una igualdad de la Ecuación 3.

$$\frac{F}{A} = \mu\frac{u}{Y} \qquad [4]$$

Donde (μ) es una constante de proporcionalidad, denominada viscosidad. Si en la Ecuación 4 se asume que (Y) se aproxima a cero se obtiene la Ecuación 5.

$$\tau = \frac{F}{A} = -\mu\frac{du}{dy} \qquad [5]$$

Los fluidos que cumplen con esta Ecuación se denominan fluidos newtonianos Donde (τ) es el esfuerzo cortante y se obtiene a partir de la Ecuación 5. Al tomar

en cuenta que la fuerza se expresa en N y el área en m^2, (τ) es posible expresar en Pa, como se muestra en la Ecuación 6.

$$[\tau] = \left[\frac{N}{m^2}\right] = [Pa] \qquad [6]$$

En la Ecuación 5, el término (du/dy) se denomina velocidad de deformación, la unidad es 1/s, y proviene del cociente entre el cambio de velocidad (m/s) y la distancia (m).

Con todo lo expuesto anteriormente, las unidades de la viscosidad en el sistema internacional (SI) se muestran en la Ecuación 7.

$$[\mu] = \left[\frac{\tau}{du/dy}\right] = \left[\frac{Pa}{1/s}\right] = [Pa \cdot s] \qquad [7]$$

En líquidos, la viscosidad se reporta frecuentemente en el sistema cegesimal (cgs), como se muestra en la Ecuación 8, donde la tensión se representa en (dina/cm²) y la velocidad de deformación en (1/s), entonces:

$$[\mu] = \left[\frac{dina \cdot s}{cm^2}\right] = [Poise] \qquad [8]$$

En la Tabla 1.1 se presenta algunos valores de viscosidad de soluciones conocidas.

Tabla 1.1 Viscosidades de fluidos conocidos

FLUIDO	VISCOSIDAD (mPa*s)
Agua 20 °C	1,0000
20 % Solución de sacarosa (20 °C)	1,9670
40 % Solución de sacarosa (20 °C)	6,2230
60 % Solución de sacarosa (20 °C)	56,7000
Glycerol (20 °C)	16,1600

Fuente: Bourne, 2002

1.1.7.1 Tipos de viscosidad

Existen tres tipos principales de viscosidad (Alvarado y Aguilera, 2001; Bourne, 2002; Vliet, 2001):

- Viscosidad dinámica o absoluta "μ", se muestra en la Ecuación 2. En la curva de fluidez (Figura 1.7a), se define también como la pendiente en cada punto de dicha curva.

- Viscosidad aparente "η", se define como el cociente entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación. La viscosidad aparente es utilizada al hablar de "viscosidad" en fluidos no newtonianos.

- Viscosidad cinemática "v", relaciona la viscosidad dinámica con la densidad del fluido utilizado. Esta relación se observa en la Ecuación 9.

$$[v] = \left[\frac{\mu}{\rho}\right] \qquad [9]$$

Dónde:

v: Viscosidad cinemática
μ: Viscosidad dinámica
ρ: Densidad del fluido

1.1.7.2 Medida de la viscosidad

La viscosidad como referente del comportamiento reológico es una propiedad fundamental para cálculos de diseño, control de proceso y calidad en la industria de gran diversidad de productos poco viscosos, similares al agua, de los cuales no se conocen exactamente sus propiedades reológicas. En tal sentido, en algunos casos se vuelve imprescindible la medición de viscosidad. En la industria

azucarera y panelera, se considera de interés medir la viscosidad de jugos y mieles en puntos de control a través de la línea de elaboración para no basar la terminación del proceso y la calidad del producto en valores estimados y/o referenciales (Díaz y Ávila, 1998).

Por lo general, los viscosímetros utilizados en la industria son de dos tipos: rotacionales y de tubo, uno u otro es efectivo si es correctamente utilizado (Singh y Heldman, 2009).

A continuación, como en la sección de instrumentos para la medición de propiedades reológicas, se enfatiza en el tema de medición de la viscosidad fundamentada en los principios de la viscosimetría de tubo de diámetro y longitud conocida (Tripaldi *et al*., 2007; Vliet, 2001; Díaz y Ávila, 1998; Singh y Heldman, 2009; Steffe, 1996).

1.1.7.3 Determinación de la viscosidad a través del viscosímetro de tubo capilar

Al tener en cuenta las facilidades de construcción que presentan los viscosímetros de tubo, los mismos resultan ideales para la medición en planta de forma económica y efectiva (Alvarado y Aguilera, 2001; Vliet, 2001; Díaz y Ávila, 1998, Steffe, 1996). Todos los viscosímetros de este tipo están basados en la configuración simple utilizada por Ostwald, en los que se mide el tiempo requerido para que un volumen determinado de líquido fluya entre dos marcas y por comparación de dos líquidos, uno de viscosidad conocida como el agua y el otro es la muestra para la cual los valores de viscosidad son obtenidos fácilmente (AOAC, 2005a; Alvarado y Aguilera, 2001)

Estos viscosímetros son de vidrio están formados esencialmente por dos tubos capilares de diferente diámetro, unidos por una cámara esférica que sirve de depósito del fluido. El tubo de mayor diámetro es por donde se introduce la muestra a la cámara y el tubo de menor diámetro conectado a un bulbo marcado en los extremos, permite el paso del líquido. Este instrumento, principalmente es

utilizado para medir la viscosidad de fluidos newtonianos, los tipos de viscosímetros más conocidos, ya mencionados, son el de Ostwald y el de Cannon Fenske (Alvarado y Aguilera, 2001; Díaz y Ávila, 1998, Steffe, 1996), los cuales se puede observar en la Figura 1.9.

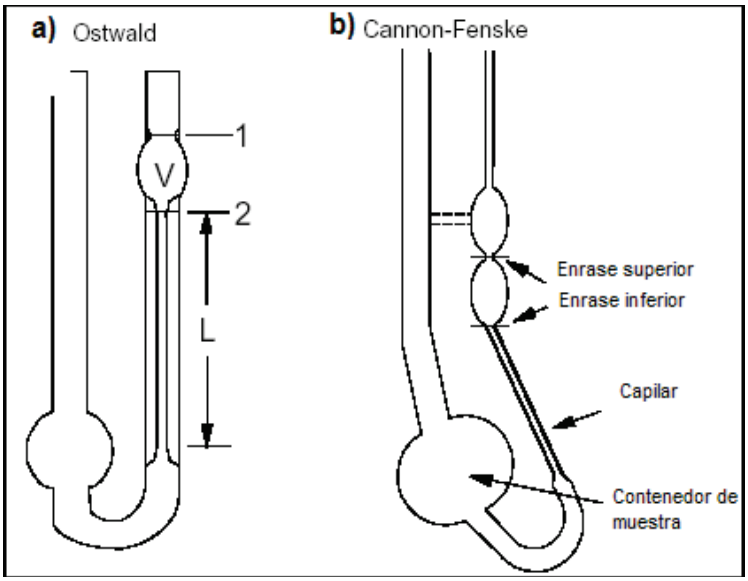

Figura 1.9. a) Viscosímetro de vidrio de tubo capilar tipo Ostwald y; b) Viscosímetro de vidrio de tubo capilar tipo Cannon – Fenske (Steffe, 1996)

La medida de la viscosidad en tubo capilar por diferencia de presión se basa en el esquema que se muestra en la Figura 1.10, tomado de Singh y Heldman, 2009.

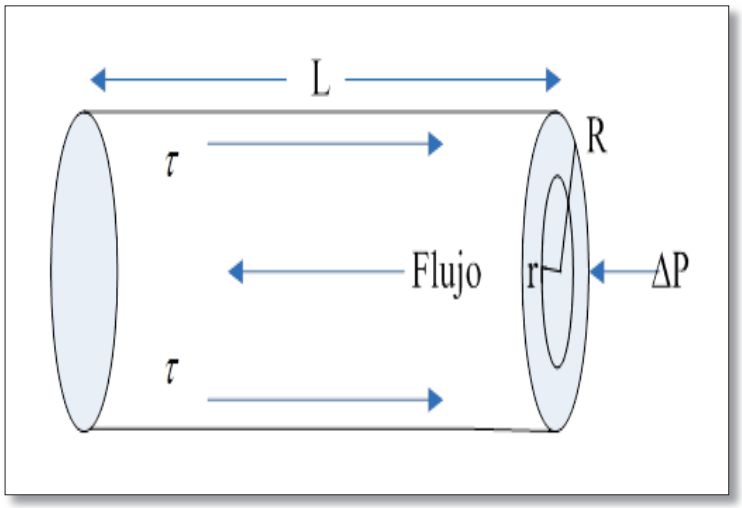

Figura 1.10. Balance de fuerzas en una sección de un tubo capilar (Singh y Heldman, 2009)

De acuerdo con Singh y Heldman, 2009; la presión (ΔP) es suficiente para vencer las fuerzas de deformación dentro de un líquido y producir un flujo a una velocidad determinada. Las fuerzas de deformación actúan en la superficie interna del líquido a lo largo de un tubo de longitud (L) y a una distancia (r) del centro del tubo, como se expresa en la Ecuación 10, donde el esfuerzo cortante es fuerza por unidad de área y el área es la sección circular del tubo.

$$\tau = \left[\frac{F}{2\pi r L}\right] \qquad [10]$$

La expresión (ΔP), es fuerza por unidad de área, donde el área corresponde a la sección transversal del tubo. Entonces se tiene en la Ecuación 11, la Ecuación 12 al despejar la fuerza (F) y la Ecuación 13 al considerar la Ecuación 10.

$$\Delta P = \frac{F}{\pi r^2} \qquad [11]$$

ó

$$F = (\pi r^2)\Delta P \qquad [12]$$

Entonces,

$$\tau = \frac{\Delta P(\pi r)}{2\pi r L} = \frac{\Delta P r}{2L} \qquad [13]$$

De la Ecuación 13 es evidente que el esfuerzo cortante (τ) variará desde cero en el centro del tubo hasta $\Delta P r/2L$ en la pared del tubo donde ($R = r$). Al combinar la Ecuación 5 y la 13 se tiene la Ecuación 14.

$$\frac{\Delta P r}{2L} = -\mu \frac{\Delta \mathrm{u}}{\Delta y} \qquad [14]$$

Si se separan las variables se obtiene la Ecuación 15.

$$du = -\frac{\Delta P}{2\mu L} r\, dr \qquad [15]$$

Al integrar desde la pared del tubo (R) donde ($u = 0$) hasta cualquier posición (r) donde la velocidad local es u se tiene las Ecuaciones 16 y 17.

$$\int_{o}^{u} du = \frac{\Delta P}{2\mu L} \int_{R}^{r} r\, dr \qquad [16]$$

Entonces:

$$u = \frac{\Delta P}{4\mu L}(R^2 - r^2) \qquad [17]$$

La Ecuación 17 es una expresión que define el perfil de velocidad de tal manera que, para un líquido de viscosidad (μ), la velocidad del mismo será (u) en un punto (r) cuando exista una caída de presión (ΔP) a lo largo de un tubo de longitud (L).

El área de la sección transversal de una capa dentro del tubo (Figura 1.10) puede expresarse como en la Ecuación 18.

$$dA = 2\pi\, r\, dr \qquad [18]$$

Entonces, el volumen del líquido que fluye en la capa por unidad de tiempo (flujo volumétrico) corresponde a la velocidad (u) multiplicada por el área (dA), expresada en la Ecuación 19.

$$d\dot{V} = (u)(2\pi\, r\, dr) \qquad [19]$$

Al integrar desde el centro del tubo ($r = 0$) hasta la pared del mismo ($r = R$), y al sustituir la velocidad (u) obtenida de la Ecuación 17 se tienen las Ecuaciones 20 y 21, respectivamente.

$$\dot{V} = \int_0^R 2\pi r \frac{\Delta P}{4\mu L}[(R^2 - r^2)]dr \qquad [20]$$

$$\dot{V} = \frac{\pi \Delta P R^4}{8\mu L} \qquad [21]$$

La Ecuación 21 es la base de diseño y operación de cualquier viscosímetro de tubo capilar. Para un tubo de longitud (L) y radio (R), la medida de una caudal ($\dot{V}$) a una presión (ΔP) dada o viceversa permite la cuantificación de la viscosidad (μ), mediante la Ecuación 22.

$$\mu = \frac{\Delta P R^4}{8L\dot{V}} \qquad [22]$$

Como la Ecuación 22 está basada en las características propias de un fluido newtoniano, cualquier combinación caudal – caída de presión dará el mismo valor de viscosidad.

1.1.8 EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN Y DE TEMPERATURA SOBRE LA VISCOSIDAD

La viscosidad de un compuesto depende fuertemente de la concentración. Según Bourne, 2002, la relación entre la concentración de sólidos solubles y la viscosidad es directa, pero no lineal a temperatura constante. De acuerdo a Ibarz, 2000, a medida que se incrementa la concentración de sólidos solubles en fluidos como soluciones azucaradas y mieles, aumenta la viscosidad. Por lo tanto, en soluciones diluidas, se obtendrán menores valores de viscosidad.

La viscosidad de un líquido también depende de la temperatura. Al tener en cuenta que la temperatura cambia apreciablemente durante muchas operaciones del proceso, es importante obtener valores apropiados de viscosidad dentro del intervalo de temperaturas existentes, esta dependencia de la viscosidad con la

temperatura obliga a un cuidado adicional con el fin evitar fluctuaciones de temperatura durante la determinación de la viscosidad de los fluidos (Singh y Heldman, 2009; Yonniots *et al.*, 2006).

1.2 MIELES Y JARABES

1.2.1 MIELES

Las mieles son fluidos alimenticios viscosos, que se caracterizan principalmente por su alto contenido de azúcares y sus propiedades dependen del origen, el medio ambiente, el clima, la situación geográfica, etc. (Azeredo *et al.*, 2003). Existen varios tipos de mieles; sin embargo, la miel es universalmente conocida a la producida por las abejas (Rodríguez y Magro, 2008). Otro tipo de miel es la de maple (Acadian maple, 2008), además con el florecimiento de la industria azucarera se tiene la miel de caña y en los países productores de panela está difundida la miel de panela (Ingenio San Carlos, 2009a).

1.2.1.1 Miel de abeja

Se identifica en el contexto mundial, a la “miel” de abeja como una sustancia dulce natural producida por abejas obreras a partir del néctar producido por nectarios florales y extraflorales, que las abejas recogen, transforman, combinan con sustancias específicas propias y almacenan en el panal para que madure (Apinetla, 2009). Las bondades nutricionales, antibacteriales y medicinales se debe al contenido de azúcares, ácidos orgánicos, varios aminoácidos y otros micronutrientes (Ahmed *et al.*, 2007; Takeshi *et al.*, 2006). Además, es un excelente antioxidante ya que contiene en pequeñas cantidades polifenoles, flavonoides y fenoles que actúan como antioxidantes en nuestra alimentación. (Blasa *et al.*, 2006). La miel de abeja es consumida directamente líquido como edulcorante de bebidas, postres o como ingrediente diferenciable de caramelos, cereales, papillas infantiles, jarabes y alimentos funcionales (Innatia, 2009).

1.2.1.2 Miel de caña

La miel de caña es un producto de aspecto similar al de la miel de abeja, pero más oscura y de sabor muy agradable (Arnau, 2003).

Se elabora a partir del jugo de la caña de azúcar (*Sacharum officinarum* L.) y tiene como ventaja, con respecto al azúcar convencional e incluso al azúcar morena de caña, que está menos refinada y es, por tanto, más saludable. La miel de caña es un alimento completo debido a que contiene carbohidratos (79,8%), proteína (0,6%), agua (19,3%) y lípidos (0,2%), además, es muy rica en vitaminas como la A, B1, B2, B5, B6, C, D2 y E y varios minerales como: calcio, fósforo, hierro, magnesio y potasio (Inkanat, 2009).

Su proceso de elaboración consiste en comprimir la caña de azúcar en un sistema de rodillos para extraer el líquido de su interior; luego, este jugo es clarificado y evaporado para eliminar el exceso de agua, y de esta manera conseguir la consistencia y las características propias de la miel. Durante la ebullición se filtran impurezas conocidas como “cachaza” que se acumulan en la superficie (Ortiz *et al*., 2008).

1.2.1.3 Miel de panela

Un producto similar a la miel de caña es la miel elaborada a partir de los bloques de panela o panela granulada. La elaboración de forma doméstica consiste en mezclar la panela con agua y someter a evaporación hasta conseguir la consistencia deseada. Aun cuando, la miel de panela, preparada de la forma descrita es muy antigua y tradicional, no se dispone de información como tal sobre propiedades y usos. Sin embargo, se estima que las bondades nutricionales otorgadas a la panela en bloque o granulada pueden estar presentes en la miel de panela. De este modo, la panela y la miel de panela son fuente de energía. Tras un esfuerzo físico, el consumo de panela es un medio rápido de aporte de energía. Según la información de uno de los ingenios azucareros del país, la

panela ayuda a fortalecer el sistema inmunológico de los niños frente a enfermedades del sistema respiratorio, la anemia y el raquitismo. También se atribuye a la panela propiedades cicatrizantes, bactericidas, balsámicas y expectorantes en caso de resfriados. Adicionalmente, puede ser un excelente hidratante de la piel, usada en mascarillas o frotándose todo el cuerpo durante la ducha (Ingenio San Carlos, 2009b).

La panela contiene aproximadamente un 86,2% de sacarosa, un 4,4 % de glucosa y un 3,6% de fructosa, cantidades pequeñas de diversos minerales como calcio, fosforo, hierro, cobre, magnesio, sodio y potasio (Romo *et al.*, 1998).

1.2.2 JARABES

Los jarabes son líquidos de consistencia viscosa por lo general contienen soluciones concentradas de azúcares como la sacarosa, en agua o en otro líquido. Se utilizan ampliamente en las industrias que elaboran jaleas, néctares y mermeladas (Alvarado, 1996).

1.2.3 PROPIEDADES REOLÓGICAS DE LAS MIELES Y JARABES

La miel es un líquido viscoso amarillento, cuya viscosidad es un parámetro reológico muy importante y está estrechamente relacionado con las pruebas físico-químicas y propiedades sensoriales de la misma (Gasparoux *et al.*, 2008).

A más de la viscosidad, otras propiedades consideradas para evaluar la miel de abeja como densidad, actividad de agua, conductividad eléctrica, sólidos insolubles, son de interés en miel de panela y jarabes de azúcar; inclusive con el propósito de identificar adulteraciones en la miel de abeja, ya que algunos apicultores adicionan directamente miel de caña, miel de panela y jarabes de azúcar o alimentan a las abejas con estas soluciones. Adicionalmente, las propiedades físico-químicas y reológicas de la miel de abeja pueden ser utilizadas

como referencias especialmente, con el propósito de caracterizar la miel de panela para ampliar las posibilidades de uso en los diferentes campos de la industria, cómo ingrediente sustituto o complementario a la mieles de abeja y/o de maple (Ahmed, *et al.*, 2007).

Las propiedades reológicas de la miel así como otras propiedades físicas e instrumentales, dependen de varios aspectos dentro de los cuales está la concentración de sólidos solubles. El contenido de agua en miel es uno de los factores que más afecta sobre la operación de almacenamiento, para el mantenimiento de la calidad e inocuidad (Chirife, 2006; Gómez *et al.*, 2004) y en su comportamiento, en mezclas con otros productos. De acuerdo con Naranjo 2008), las mieles de dos variedades de caña panelera presentan comportamiento newtoniano hasta concentraciones del 70% de sólidos solubles a las temperaturas desde 35 a 55 °C. Los resultados obtenidos mediante el viscosímetro rotacional Brookfield LVTD evidencian que existe una relación lineal entre el esfuerzo cortante y la velocidad de deformación en cizallamiento, independientemente del tiempo de aplicación de dicho esfuerzo, a demás, los valores de viscosidad del trabajo de Naranjo 2008 están por debajo del intervalo newtoniano de 2,8 Pa*s a 101Pa*s, establecido en muestras de miel de abeja de Turquía (Kayacier y Karaman, 2008) y de Australia (Bhandari *et al.*, 1999).

1.3 PROPIEDADES INSTRUMENTALES DE LAS MIELES Y JARABES

La medida de las propiedades instrumentales tiene como objetivo principal evaluar la magnitud de algún aspecto de la textura de los alimentos. La textura tiene una importancia fundamental en la producción y aceptación de un producto debido a que la primera sensación de textura lleva a un consumidor a aceptar o rechazar el producto (Castro, 1999). Los ensayos instrumentales pretenden medir las fuerzas generadas durante procesos muy simples debido a deformaciones producidas por efecto de fuerzas aplicadas como por ejemplo la fuerza de compresión. Comúnmente, se registra la fuerza en función del desplazamiento.

Por lo tanto, se obtienen curvas de consistencia o resistencia al flujo (Vincent, 2003).

1.3.1 CONSISTENCIA

La consistencia es el término que se emplea para explicar el comportamiento reológico o de flujo de productos semisólidos (Ramírez, 2006). Para obtener la consistencia, se puede usar un equipo básico como es el consistómetro de Bostwick, o un equipo sofisticado como es el analizador de textura TA-TX2i con el accesorio «Back Extrusion Rig»; a través del cual se puede medir la firmeza, consistencia, cohesividad y la resistencia al flujo de fluidos alimenticios (Naranjo, 2008), como se puede observar en la Tabla 1.2. El accesorio «Back Extrusion Rig» está compuesto por un conector, un juego de tres discos de diámetros diferentes y el recipiente para la muestra (Stable Micro System, 1997a).

Tabla 1.2. Medición de la firmeza, la consistencia, la cohesividad y la resistencia al flujo de muestras de miel de caña variedad POJ 28-78

Tratamientos	Firmeza g	Consistencia (g*s)	Cohesividad g	Resistencia al flujo (g*s)
50 °Brix, 35 °C	13,5000	140,0700	-8,5000	-15,7500
50 °Brix, 45 °C	13,5700	139,7300	-8,2300	-14,7400
50 °Brix, 55 °C	13,0000	132,6000	-8,6000	-61,8100
60 °Brix, 35 °C	14,4300	148,8000	-9,2700	-18,9800
60 °Brix, 45 °C	14,2700	149,1300	-8,9300	-17,8100
60 °Brix, 55 °C	14,1700	146,9000	-9,0000	-17,6900

Fuente: Naranjo, 2008

1.3.2 DENSIDAD

Según Singh y Heldman, 2009, la densidad de un fluido es la masa que corresponde a una unidad de volumen de dicha sustancia, es decir es el cociente entre la masa y el volumen. En el sistema internacional se expresa en kg/m^3.

La Ecuación 23 relaciona la masa y el volumen para calcular la densidad.

$$[\rho] = \left[\frac{m}{V}\right] \qquad [23]$$

Donde:

ρ: es la densidad
m: es la masa
V: es el volumen

La determinación de la densidad de fluidos tiene importancia no sólo en la física, sino también en el mundo del comercio y de la industria. Por ser una propiedad característica, su valor puede emplearse para efectuar una comprobación del grado de pureza de una sustancia líquida, para determinar la concentración de compuestos que se encuentran en solución, para identificar los sólidos presentes y caracterizar diversos fluidos (Dancona, 2000).

1.3.3 ACTIVIDAD DE AGUA DE LAS MIELES Y JARABES

La actividad del agua (a_w) se define como la cantidad de agua libre en las mieles y jarabes, es decir, el agua disponible para el crecimiento de microorganismos y para que se puedan llevar a cabo diferentes reacciones químicas. Tiene un valor máximo de 1 y un mínimo de 0. Cuanto menor sea este valor, mejor se conservará el producto. La actividad del agua está directamente relacionada con la textura de los alimentos: a una mayor actividad de agua, la textura es mucho más diluida; sin embargo, es fácilmente alterable y se debe tener más cuidado (Rodríguez *et al.*, 2008).

Cuanto menor es la actividad de agua de una miel o jarabe, mayor es su vida útil. Es importante diferenciar entre cantidad de agua y actividad de agua. El primer término hace referencia a la cantidad total de agua presente en la miel o jarabe,

aunque puede ser que no esté libre para interaccionar. La actividad de agua, en cambio, hace referencia únicamente a la cantidad de agua libre en la miel o jarabe y disponible para reaccionar, es decir, la que puede facilitar la contaminación del producto. Controlar la actividad del agua en los alimentos es sinónimo de alargar su vida útil, al conseguir una disminución de la cantidad total de agua libre se disminuye notablemente las probabilidades de contaminación microbiana. No todos los alimentos requieren los mismos cuidados. La miel, por ejemplo, no precisa cuidados extras (Cosumer Eroski, 2009).

Trabajos preliminares relacionados con la determinación de actividad de agua en mieles españolas, puso de manifiesto un rango que puede oscilar entre 0,4000 y 0,6000, que la convierte en un alimento seguro. El efecto de cristalización fraccionada suele, sin embargo, dejar expuesto el producto a la acción de mohos y levaduras presentes en el medio de manera natural (Salamanca *et al.*, 2004).

1.3.4 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DE LAS MIELES Y JARABES

La conductividad eléctrica mide la facilidad con la que una corriente eléctrica se desplaza en un medio. En el caso de líquidos como la miel, se trata de una característica que está en función directa con el contenido mineral, el color y la acidez de las mieles. Se expresa en mili Siemens/cm (mS/cm). La conductividad depende de los factores que influyen en la composición y propiedades de la miel, tales como: ubicación geográfica, clima, fisiología floral y el origen botánico. En el caso de jarabes esta propiedad varía de acuerdo al tipo de jarabe a medir. (Corbella, 2002).

La medición de conductividad eléctrica es fácil, rápida y requiere instrumentación sencilla. Es una determinación ampliamente utilizada para distinguir los tipos de mieles. Por estas razonas, la introducción de la conductividad eléctrica entre los estándares internacionales se recomienda con carácter de urgencia (Ratia, 2001).

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 PREPARACIÓN DE LAS MUESTRAS DE MIEL DE PANELA Y JARABES DE AZÚCAR

2.1.1 PANELA GRANULADA Y AZÚCAR

En la parte experimental de este proyecto se utilizaron por triplicado las siguientes muestras: 5 kg de panela granulada procedente de una unidad productiva artesanal de la asociación de productores de El Paraíso de la parroquia de Pacto en la provincia de Pichincha; 5 kg de azúcar morena del ingenio azucarero San Carlos y 5 kg de azúcar blanca, marca MEGAMAXI. Las muestras de azúcar fueron adquiridas en el mercado local y las especificaciones nutricionales de los tres tipos de muestras utilizadas se presentan en el Anexo II. Las muestras fueron mantenidas en el laboratorio, en empaques de cierre hermético. Los ensayos experimentales fueron realizados en el Departamento de Nutrición y Calidad de la Estación Experimental Santa Catalina, del INIAP.

2.1.2 PREPARACIÓN DE MIEL DE PANELA Y JARABES DE AZÚCAR

Para llevar a cabo las diferentes mediciones instrumentales, por réplica se prepararon muestras de 500 mL (unidad experimental) de miel y jarabes de 20, 40 y 60 % de sólidos solubles, la referencia 0% de sólidos solubles fue agua destilada.

Las cantidades requeridas de panela granulada, azúcar morena y azúcar blanca, se reportan en el Anexo III. Las muestras fueron pesadas en una balanza de precisión marca SHIMADZU LIBROR EB-3200; continuación se procedió a mezclar las cantidades pesadas de panela granulada, azúcar morena o azúcar blanca con agua destilada en un evaporador (COUSINART modelo Wok 730) con calentamiento eléctrico regulado por un reóstato para el control de la temperatura.

Se trabajó a 250 °C de temperatura para llevar las muestras hasta ebullición y asegurar la completa disolución de la panela y el azúcar. La verificación y ajuste de la concentración de sólidos solubles se realizó mediante un juego de brixómetros marca ATAGO de los siguientes rangos: 0 a 52 °Brix, 28 a 62 °Brix y 58 a 90 °Brix. Cuando las soluciones alcanzaron el punto de ebullición, con un gotero se tomó pequeñas cantidades de solución (1 mL) y se dejó enfriar, luego de lo cual 3 gotas fueron colocadas en el prisma del brixómetro adecuado para la determinación del porcentaje de sólidos solubles por lectura directa, como se ilustra en la Figura 2.1.

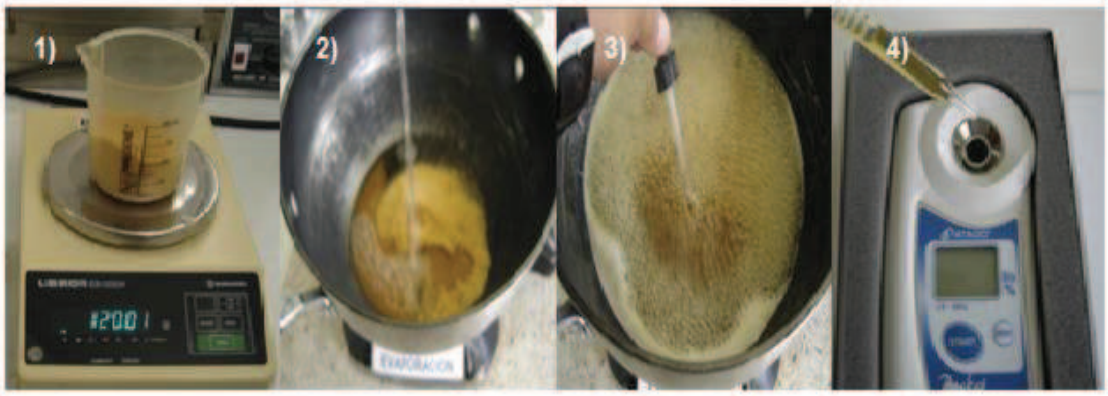

Figura 2.1. Secuencia empleada para la preparación de miel y jarabes de 20, 40, 60% de sólidos solubles

Las muestras preparadas de miel y jarabes fueron trasvasadas a frascos de vidrio (erlenmeyers) de 500 mL para el enfriamiento a temperatura ambiente, y tapadas con una lámina de papel aluminio para evitar variaciones en el porcentaje de sólidos solubles. Las condiciones de temperatura en el laboratorio variaron de 18,9 a 22,0 °C. Finalmente, como se indica en la Figura 2.2, los frascos con las muestras fueron mantenidos en reposo a 20,0 °C en una cámara de almacenamiento con temperatura controlada marca MEMMERT.

2.1.3 MANEJO EXPERIMENTAL DE LAS MIELES Y JARABES

La preparación de las muestras de miel de panela y jarabes de azúcar, y su manejo experimental fueron llevados a cabo en función al planteamiento de la

hipótesis y la estructuración del diseño experimental. De esta forma fueron realizadas con rigor estadístico, las mediciones instrumentales del nuevo ensayo y el resto de mediciones propuestas para la validación y correlación de resultados.

2.1.3.1 Hipótesis

Ho: El nuevo ensayo instrumental del equipo analizador de textura no explica las propiedades reológicas en términos de viscosidad de la miel de panela y jarabes de azúcar a diferentes concentraciones.

2.1.3.2 Diseño experimental

Las mediciones instrumentales, tanto del nuevo ensayo, como del resto de determinaciones planteadas para validación y correlaciones, fueron ejecutadas de acuerdo al diseño completamente al azar (DCA) en arreglo factorial AxB de 12 tratamientos con 3 réplicas.

2.1.3.3 Variables independientes

Las variables para el diseño experimental fijadas fueron:

A: Tipos de muestras

a_0: Miel de panela
a_1: Jarabe de azúcar morena
a_2: Jarabe de azúcar blanca

B: Concentraciones de mieles y jarabes

b_0: 0 °Brix

b_1: 20 °Brix

b_2: 40 °Brix

b_3: 60 °Brix

2.1.3.4 Tratamientos

En la Tabla 2.1 se muestran los tratamientos, producto de la combinación de las variables fijadas: A (tipos de muestras) x B (concentraciones de mieles y jarabes); las cuales fueron evaluadas mediante tres réplicas.

Tabla 2.1. Tratamientos producto de la combinación de los factores A y B

No.	Tratamientos	Descripción
1	a_0b_0	Miel de panela y 0 °Brix
2	a_0b_1	Miel de panela y 20 °Brix
3	a_0b_2	Miel de panela y 40 °Brix
4	a_0b_3	Miel de panela y 60 °Brix
5	a_1b_0	Jarabe de azúcar morena y 0°Brix
6	a_1b_1	Jarabe de azúcar morena y 20 °Brix
7	a_1b_2	Jarabe de azúcar morena y 40 °Brix
8	a_1b_3	Jarabe de azúcar morena y 60 °Brix
9	a_2b_0	Jarabe de azúcar blanca y 0 °Brix
10	a_2b_1	Jarabe de azúcar blanca y 20 °Brix
11	a_2b_2	Jarabe de azúcar blanca y 40 °Brix
12	a_2b_3	Jarabe de azúcar blanca y 60 °Brix

2.1.3.5 Análisis de varianza

En la Tabla 2.2 se muestra el esquema de análisis de varianza (ADEVA) utilizado para evaluar los resultados de las mediciones del nuevo ensayo, los resultados del resto de determinaciones reológicas y complementarias, así como, de las razones de variación de las correlaciones establecidas. El ADEVA fue ejecutado mediante el software Statgraphics Plus, versión 4.0.

Tabla 2.2. Esquema análisis de varianza (ADEVA)

Fuente de variación	Grados de libertad
TOTAL	35
Tipos de muestras	2
Concentración de mieles y jarabes	3
Interacción A*B	6
Error experimental	24

2.1.3.6 Relaciones de validación instrumental del ensayo

La validación de las mediciones instrumentales del nuevo ensayo, ejecutado en el texturómetro TA-XT2i, fue realizada al relacionar estos resultados reológicos con los valores correspondientes a las pruebas efectuadas con los viscosímetros Cannon-Fenske (AOAC INTERNATIONAL, 2005a) y a las mediciones de consistencia con el accesorio «Back Extrusion Rig» en el texturómetro TA-XT2i.

2.2 MEDICIÓN DE LA VISCOSIDAD DE MIEL DE PANELA Y JARABES DE AZÚCAR MEDIANTE EL NUEVO ENSAYO INSTRUMENTAL

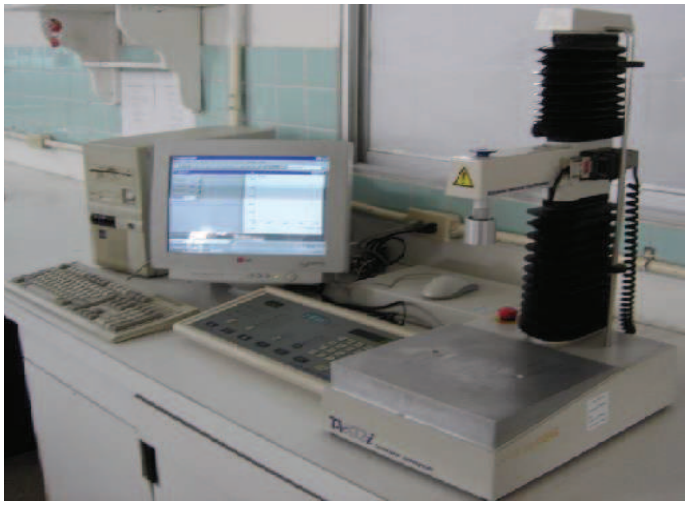

Figura 2.2. Texturómetro TA-XT2i conectado al computador, INIAP, EESC, DNC

El manual de manejo del equipo analizador de textura TA-XT2i de la STABLE MICRO SYSTEMS fue revisado detenidamente, para aprovechar todas las opciones disponibles y asegurar el uso correcto (Stable Micro Systems, 1997a).

La guía de uso del equipo y ejecución de ensayos, en forma resumida se presenta en el Anexo IV. En la Figura 2.2 se incluye una fotografía del equipo, también conocido como texturómetro.

2.2.1 CREACIÓN DEL PROYECTO PARA LA EJECUCIÓN DEL NUEVO ENSAYO INSTRUMENTAL EN EL TEXTURÓMETRO TA-XT2i

Mediante el procedimiento de operación del software Texture Expert (Stable Micro System, 1997b) y con la guía de uso del equipo, se creó un proyecto nuevo para la ejecución del ensayo instrumental de reología. El proyecto nuevo en sí, es una carpeta operativa en la cual deben ser archivadas las subcarpetas: parámetros, macro, gráficos y resultados. En tal sentido, la ejecución de todos los ensayos de mediciones instrumentales del texturómetro se fundamenta en los siguientes aspectos importantes:

- Definición de las condiciones de operación, incluido la celda de carga y el accesorio a utilizar

- Fijación de los parámetros seleccionados para el funcionamiento del texturómetro

- Creación de la macro para la presentación de datos y resultados

- Selección de las unidades de expresión de gráficos y resultados de las mediciones instrumentales

- Ejecución del ensayo, el cual incluye la selección y calibración del accesorio o sonda

2.2.1.1 Selección de condiciones de operación y accesorio

Las condiciones de operación del texturómetro y la celda de carga de 5 kg fueron seleccionadas con base en los ejemplos disponibles de mediciones instrumentales en mieles, jarabes y cremas de la sección Ayudas del software Texture Expert (Stable Micro System, 1997b). En dichos ejemplos, el ensayo utilizado es el de la fuerza de compresión ejercida sobre el fluido mediante el disco del accesorio «Back Extrusion Rig».

En este ensayo se utilizó la medida de compresión ejercida por el émbolo de una jeringuilla sobre la miel y el jarabe. El accesorio utilizado se muestra en la Figura 2.3 y estuvo compuesto por: un conector de probetas de 6 cm de largo, en aluminio; una probeta cilíndrica de aluminio de 35 mm de diámetro (P/35); una jeringuilla de vidrio de 10 mL, µ- Micromatic, marca SUPER EVA GLASS; y frasco de vidrio de 300 mL de boca angosta y 14,5 cm de alto, utilizado como soporte de la jeringuilla. La selección de la jeringuilla se fundamentó en la práctica de reología propuesta por Tripaldi *et al.*, 2007 y en los principios para la determinación de la viscosidad mediante la presión en tubos capilares (Singh y Heldman, 2009; AOAC, 2005b; Bourne, 2002; Steffe, 1996).

Figura 2.3. Accesorio utilizado para medir la viscosidad en miel de panela y jarabes de azúcar en el nuevo ensayo instrumental

2.2.1.2 Calibración del equipo y fijación de parámetros

Como parte de la fijación de parámetros se verificó la calibración del equipo con la celda de carga de 5 kg. El procedimiento de calibración esta descrito en el Anexo IV y este paso es necesario únicamente cuando se cambie de lugar al equipo o cada vez que se requiera cambiar la celda de carga.

Los parámetros fijados para este ensayo fueron los siguientes:

- Medida de fuerza en compresión
- Volver al inicio
- Velocidad de pre-ensayo: 1,5 mm/s
- Velocidad de ensayo: 1,5 mm/s
- Velocidad post-ensayo: 10 mm/s
- Distancia: 12 mm
- Fuerza: 20 g

2.2.1.3 Creación de la macro

La macro es un conjunto de comandos que se requiere fijar en el software del equipo analizador de textura, para que interprete los movimientos del equipo y transforme los datos obtenidos, en resultados cuantificados. Además la macro, controla y organiza la información de los gráficos y la tabla de resultados de las mediciones instrumentales. La macro fue estructurada con la ayuda de los ejemplos disponibles y el manual de uso del texturómetro (Stable Micro System, 1997a).

La definición de los comandos utilizados en la macro se detalla en el Anexo V. La macro utilizada en este ensayo fue:

- Borrar resultados del gráfico
- Presentar gráfico
- Buscar hacia delante
- Ir a tiempo mínimo: 0.0 s
- Marcar fuerza
- Fijar anclaje: 1
- Ir a tiempo máximo
- % Fuerza máxima: 100%
- Marcar fuerza
- Marcar tiempo
- Fijar anclaje: 2
- Área
- Seleccionar anclaje: 1
- % de fuerza máxima: 100%
- Seleccionar anclaje: 2

2.2.1.4 Selección de las unidades para el reporte de datos y resultados de las mediciones instrumentales

La obtención de los datos y resultados del nuevo ensayo experimental se realizó a través de los gráficos de la medida de la fuerza de compresión versus el tiempo. Las unidades seleccionadas fueron libras fuerza sobre pulgada cuadrada (lb*/pul²) para expresar esfuerzo. De este modo, se obtuvo el área bajo la curva en unidades de viscosidad [(lb*• pul^2)•s], resultante de multiplicar la diferencia de las medidas de compresión inicial y final (lb*/pul²) por el valor del tiempo (s). En la figura 2.4 se muestra cómo seleccionar las unidades.

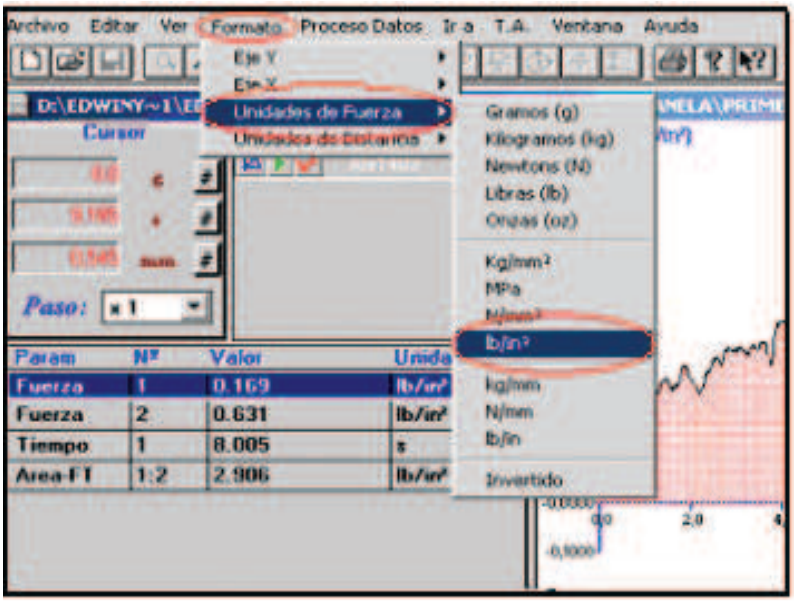

Figura 2.4. Forma de seleccionar la opción de unidades de medición en el Software

2.2.1.5 Calibración de sonda (émbolo) y ejecución del ensayo de medida de las fuerzas de compresión sobre miel de panela y jarabes de azúcar

Para iniciar cada rutina de mediciones instrumentales se comprobó que todos los componentes del accesorio estén ubicados y colocados correctamente. A continuación se procedió a calibrar la sonda o en este caso a calibrar la distancia que debe bajar el émbolo de la jeringuilla y la distancia para que retorne a su posición inicial el brazo del texturómetro con la probeta de aplicación de la fuerza.

En esta parte se tomó en cuenta que el émbolo debe descender desde 5 mL hasta 2 mL para desalojar 3 mL de muestra. En la Figura 2.5 se observa cómo ejecutar la opción "*Calibración de sonda*" a través del software, el cual esta descrito en la guía de uso del Anexo IV.

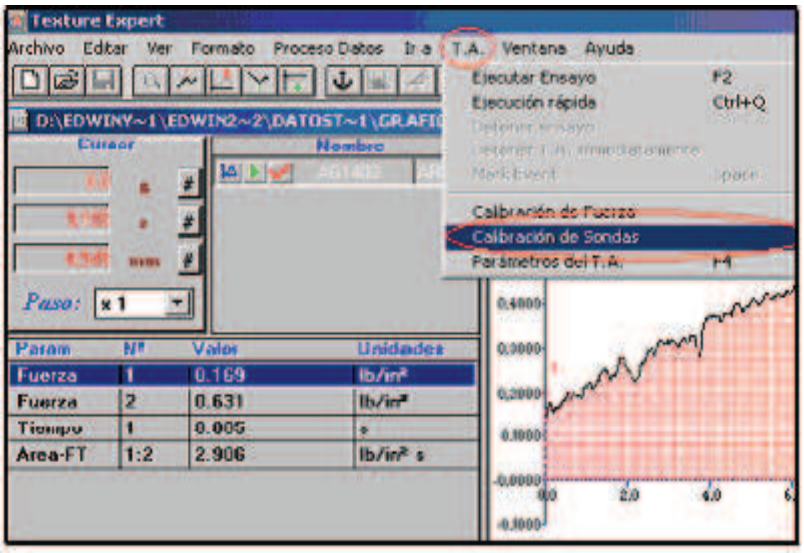

Figura 2.5. Forma de seleccionar la opción "*Calibración de sonda*"

La jeringuilla con muestra hasta la marca de 2 mL fue colocada en el frasco para ejecutar la calibración de la sonda. A continuación, mediante el tablero de control del Texturómetro, manualmente, se operó el movimiento del brazo del texturómetro hasta que la probeta de aplicación de la fuerza este lo más cerca posible de la parte superior del émbolo. El retorno del brazo del texturómetro se fijó en 18 mm. Esta distancia se seleccionó al considerar el espacio requerido para la ejecución del ensayo con el embolo en la jeringuilla a la altura de 5 mL y su descenso hasta 2 mL.

Después de calibrar la sonda, para la ejecución del ensayo se midió en la jeringuilla 5 mL de muestra, lo más exacto posible. La jeringuilla fue colocada en el frasco de vidrio ubicado en el centro de la base del equipo, justo bajo la probeta de aplicación de la fuerza. En la Figura 2.6 se muestra la secuencia completa de colocación de la muestra a ser medida. Luego se presiona la opción "*Ejecutar ensayo*" en el programa, y se muestra un cuadro dentro del cual se especifica el tipo de accesorio (probeta cilíndrica de aluminio de 35 mm de diámetro (P/35)), a

utilizar en el nuevo ensayo instrumental y el área de contacto (170,873 mm²) del accesorio con la muestra, en este caso particular, es el diámetro interno de la parte inferior del émbolo de la jeringuilla, al presionar “OK”, el brazo del texturómetro empieza el desplazamiento en forma vertical desde arriba hacia abajo. Al entrar en contacto con el émbolo se marca la medida de presión inicial y al llegar el émbolo a la marca de 2 mL se obtiene la medida de la presión final. Después de que el ensayo es ejecutado, el brazo del texturómetro regresa a la posición inicial.

Figura 2.6. Secuencia empleada para colocar la muestra a ser medida en el Texturómetro TA-XT2i

El descenso del émbolo provocó el desplazamiento de 3 mL de muestra al frasco, el cual fue utilizado como soporte de la jeringuilla y receptor de la muestra desalojada. Al ejecutarse automáticamente la macro, tanto el gráfico con las marcas de las medidas de esfuerzo, como la tabla de resultados fueron mostrados. En la Figura 2.7 están ilustrados los resultados reportados por el software Texture Expert. Para continuar con otra medición, el gráfico y la tabla de resultados fueron guardados en las ubicaciones respectivas, dentro del proyecto creado para el nuevo ensayo.

Para controlar la respuesta del texturómetro, previo a la medición de las muestras de miel y jarabes de 20, 40 y 60 °Brix, siempre se utilizó muestras de agua como referencias. Al finalizar las 5 determinaciones por muestra, el émbolo y la jeringuilla fueron lavados y secados cuidadosamente. La muestra recogida en el

frasco fue descartada después de cada medición y el frasco fue lavado en agua corriente.

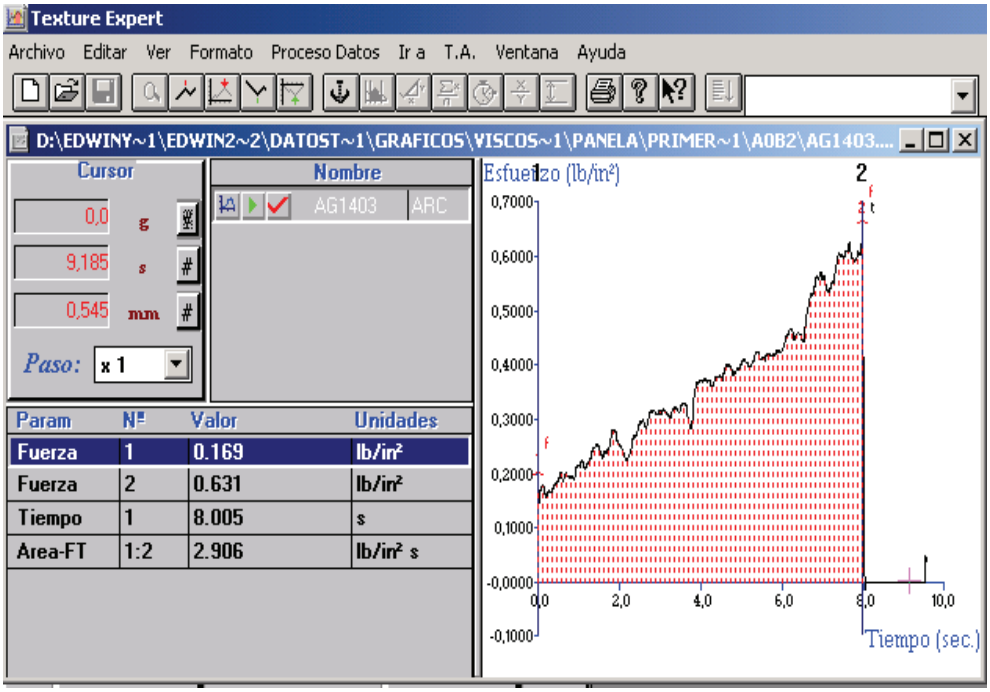

Figura 2.7. Ejemplo de reporte de resultados en forma de gráfico y tabla de una medición de las fuerzas de compresión en agua destilada

De la forma descrita, las muestras de miel de panela y jarabes de azúcar de 0, 20, 40 y 60 °Brix fueron medidas a 20 °C. Se realizaron 5 determinaciones por muestra. Se utilizó agua destilada para la concentración 0 °Brix. El ensayo instrumental se ejecutó con tres replicaciones.

2.2.2 CÁLCULO DE LA VISCOSIDAD

El cálculo de la viscosidad se realizó por dos métodos:

- En función del área bajo la curva, delimitada por las marcaciones de presión inicial y final

- Con base en los fundamentos teóricos del viscosímetro de tubo capilar, de diámetro y longitud conocida

Para el cálculo de la viscosidad, se transformaron las unidades de esfuerzo inicial y final de [(lb*/pul²)•s] reportadas en la ejecución del ensayo, a (Pa•s) unidades consideradas para reportar resultados de fluidos alimenticios (Bourne, 2002; AOAC INTERNACIONAL, 2005b). Por último, estos datos fueron remplazados en la Ecuación 22, tomada de Singh y Heldman, 2009; y basada en las características propias de un fluido newtoniano.

$$\mu = \frac{\Delta P R^4}{8 L \dot{V}} \qquad [22]$$

Dónde:

ΔP: Variación de esfuerzo o presión
R^4: Radio interno del émbolo de la jeringuilla
L: Longitud que recorre la muestra
$\dot{V}$: Flujo volumétrico

2.3 MEDICIÓN DE LA CONSISTENCIA DE MIEL DE PANELA Y JARABES DE AZÚCAR MEDIANTE LA PRUEBA «BACK EXTRUSION RIG»

2.3.1 CREACIÓN DEL PROYECTO PARA LA EJECUCIÓN DE LA MEDICIÓN DE LA CONSISTENCIA DE MIELES Y JARABES

Para la creación del proyecto de consistencia se consideraron los mismos aspectos citados en el punto 2.1.1.

2.3.2 SELECCIÓN DE CONDICIONES DE OPERACIÓN Y ACCESORIO

Las condiciones de operación del texturómetro y la celda de carga fueron seleccionados de acuerdo con Naranjo, 2008).

El accesorio utilizado para esta determinación reológica es el «Back Extrusion Rig», con disco de 40 mm de diámetro como se aprecia en la Figura 2.8.

Figura 2.8. Accesorio «Back Extrusion Rig», del Texturómetro TA-XT2i

2.3.3 CALIBRACIÓN DEL EQUIPO Y FIJACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE TRABAJO

Se trabajó con una celda de carga de 5 kg. La calibración se efectuó mediante el software Texture Expert y se siguió el método sugerido por el fabricante.

Los parámetros utilizados en este proyecto fueron:

- Medida de fuerza en compresión
- Volver al inicio
- Velocidad de pre-ensayo: 1,5 mm/s
- Velocidad de ensayo: 2 mm/s
- Velocidad post-ensayo: 4 mm/s
- Distancia: 38 mm

- Fuerza: 10 g

2.3.4 CREACIÓN DE LA MACRO

La macro fue estructurada con la ayuda del trabajo realizado por Naranjo, 2008, anteriormente en el texturómetro.

La macro utilizada en el ensayo fue:

- Presentar gráfico
- Ir a tiempo mínimo: 0.0 s
- Fijar anclaje: 1
- % Fuerza máxima: 100%
- Marcar fuerza: Firmeza
- Fijar anclaje: 2
- Área: Consistencia
- Ir a fuerza: 0,0 g
- Fijar anclaje: 3
- Fuerza mínima: 100%
- Marcar fuerza: Cohesividad
- Ir a tiempo: 30 s

- Fijar anclaje: 4
- Área: Resistencia al flujo

2.3.5 SELECCIÓN DE LAS UNIDADES PARA EL REPORTE DE DATOS Y RESULTADOS DE LAS MEDICIONES INSTRUMENTALES

El reporte de los datos y resultados se realizó a través de los gráficos de la medida de la fuerza de compresión versus el tiempo, con las unidades en gramos fuerza (g*) y segundos (s), respectivamente.

2.3.6 CALIBRACIÓN DE SONDA Y EJECUCIÓN DEL ENSAYO DE MEDIDA DE LAS FUERZAS DE COMPRESIÓN SOBRE MIEL DE PANELA Y JARABES DE AZÚCAR

Después de colocar el accesorio correctamente se calibró la sonda antes de cada medición, para esto se tomó en cuenta la distancia que tiene que bajar el disco de compresión y la distancia para que retorne a su posición inicial, el brazo del texturómetro con la probeta adaptada al disco.

Se depositó 100 mL de agua en el contenedor de muestra, el mismo que se colocó en la base del accesorio para que no exista movimiento alguno al momento de calibrar la sonda, a continuación, mediante el tablero de control del texturómetro, manualmente, se operó el movimiento del brazo del texturómetro hasta que el disco de compresión esté lo más cerca posible de la superficie de la muestra. El retorno del brazo del texturómetro se fijó en 38 mm. Esta distancia se seleccionó al considerar que la macro reporta los resultados desde el momento que el disco esté completamente sumergido en la muestra, se desplace verticalmente hasta casi tocar el fondo del contenedor de muestra y retorne a su posición inicial. Para finalizar, el disco y la probeta se lavaron con agua destilada y se secaron con papel absorbente.

Para la ejecución del ensayo se depositaron 100 mL de muestra en el recipiente contenedor de muestra, este contenedor se colocó sobre la base que fija al contenedor, bajo el brazo del texturómetro, Al momento de presionar "*Ejecutar ensayo*", el programa mostró el cuadro dentro del cual se especificó el tipo de accesorio (disco de compresión A/BE 40 mm), al presionar "*OK*" se ejecutó el ensayo inmediatamente. En la Figura 2.9 se aprecia el movimiento del brazo del texturómetro y la ejecución del ensayo de consistencia.

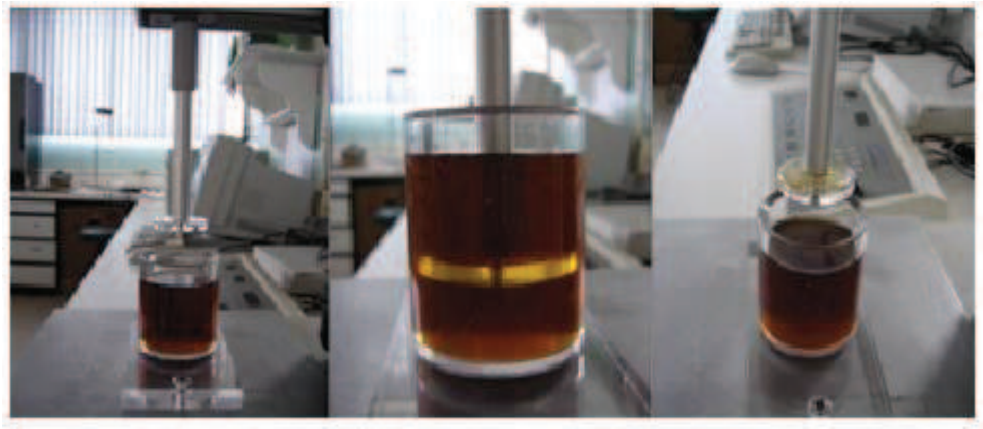

Figura 2.9. Proceso que realiza el texturómetro TA-XT2i con el accesorio «Back Extrusion Rig», en la medición de consistencia

De igual forma, en esta operación se trabajó con muestras de agua destilada 0 °Brix, de miel de panela y jarabes de azúcar a 20, 40 y 60 °Brix a 20 °C de temperatura, con 2 determinaciones en cada tratamiento con 3 replicaciones. Después de cada medición, tanto contenedor como, disco fueron lavados con agua destilada y secados con papel absorbente.

2.4 MEDICIÓN DE VISCOSIDAD ABSOLUTA DE MIEL DE PANELA Y JARABES DE AZÚCAR MEDIANTE LOS VISCOSÍMETROS DE TUBO CAPILAR CANNON-FENSKE

En la Figura 2.10 se aprecia el juego de viscosímetros utilizados para medir el tiempo de flujo del agua, de la miel de panela y los jarabes de azúcar de 20, 40 y 60 °Brix.

Figura 2.10. Juego de viscosímetros de tubo capilar tipo Cannon- Fenske

Los viscosímetros fueron de tipo tubo capilar Cannon–Fenske, de los tamaños ASTM: 50, 100 y 200, con las especificaciones que se indican en la Tabla 2.3

Tabla 2.3. Especificaciones de los viscosímetros tipo tubo capilar Cannon-Fenske, utilizadas de acuerdo a la concentración de sólidos solubles presentes en las muestras

Concentración sólidos solubles (°Brix)	**Viscosímetro tamaño ASTM** (Cannon-Fenske)	**Rango de viscosidad** (mPa·s)
*0	*	*
20	**50**	0,7985 - 3,9928
40	**100**	2,9946 - 14,9730
60	**200**	19,9640 - 99,8200

*Para la concentración 0 °Brix, se utiliza agua destilada y se toma el tiempo de recorrido con todos los viscosímetros, por ser un valor indispensable para calcular la viscosidad

El viscosímetro del tamaño ASTM requerido fue introducido en un recipiente con agua a 20 °C, ajustado a un soporte universal por medio de una pinza metálica y acondicionado por 10 min.

Con una pipeta DROPTEK (1 000 µL) se transvasó 7 mL de muestra, por el tubo de mayor diámetro del viscosímetro del rango deseado, luego suavemente, se absorbió con una pera de succión para que el líquido empiece por gravedad, a fluir por el capilar. Con un cronometro marca THOMAS SCIENTIFIC, se tomó el tiempo que se demoró en pasar la muestra desde el enrase superior al enrase

inferior del bulbo del viscosímetro. A continuación se siguió el mismo procedimiento con agua destilada y el resto de muestras.

Luego de obtener los tiempos de flujo, se pesó en una balanza analítica de marca BOECO, 1 mL de muestra a 20 °C para determinar la densidad de la muestra y al dividir para el dato de la densidad de agua a la misma temperatura (Singh y Heldman, 2009) se determinó la gravedad específica de cada muestra utilizada.

Los datos obtenidos se remplazaron en la Ecuación 24 propuesta en el método de la AOAC INTERNATIONAL, (2005a) para calcular la viscosidad absoluta.

$$\mu = \frac{Tiempo\ de\ flujo\ de\ muestra\ a\ 20\ °C \times Gravedad\ específica\ de\ muestra\ \times 1{,}002}{Tiempo\ de\ flujo\ de\ H2O\ a\ 20\ °C} \qquad [24]$$

2.5 CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES COMPLEMENTARIAS DE LAS MUESTRAS DE MIEL DE PANELA Y JARABES DE AZÚCAR

2.5.1 DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD

Se utilizó un juego de 8 densímetros CI – USA, con un rango de 0,7 a 1,8 (g/mL). Para determinar la densidad, se llenó una probeta de 250 mL con miel de panela, jarabe de azúcar morena o jarabe de azúcar blanca a 20, 40 ó 60 °Brix a una temperatura de 20 °C. El densímetro apropiado se introdujo en la probeta con la muestra y se leyó en la escala numérica, la densidad de la miel y de los jarabes.

2.5.2 DETERMINACIÓN DE LA ACTIVIDAD DE AGUA

Para determinar la actividad de agua de las muestras de miel y jarabes se utilizó el medidor digital AQUALAB marca Decagon. Se calibró el equipo con soluciones estándar de 0,25 (LiCl) y 0,76 (NaCl) a_w. Se colocó aproximadamente 3 mL de

muestra en los dispositivos del equipo, los mismos se colocaron dentro del equipo, se presionó el botón izquierdo y se esperó que el equipo muestre el valor de actividad de agua.

2.5.3 DETERMINACIÓN DE LOS SÓLIDOS TOTALES

Para la determinación de sólidos totales se utilizó la estufa marca Precisión Scientific, controlado por un termómetro digital SIMPSON modelo 383.

Con la ayuda de una balanza analítica BOECO se pesó aproximadamente 3 g de muestra en recipientes de aluminio previamente secados. Los recipientes con la muestra fueron colocados en una estufa a 75 °C ± 2 °C durante 17 horas. Después del secado, se dejaron enfriar los recipientes con las muestras en un desecador por 15 minutos, se pesaron y nuevamente se colocaron en la estufa por una hora, después de lo cual se volvió a pesar para determinar variaciones. Esta operación se repitió 5 veces, hasta tener un peso casi constante. De este modo el último peso fue remplazado en la Ecuación 25.

$$\%\ Sólidos\ totales = 100 - Valor\ pesado \qquad [25]$$

2.5.4 DETERMINACIÓN DE LA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Se utilizó el medidor Accumet Basic (Fisher Scientific AB300), marca HACH, provisto de un electrodo para determinación directa de la conductividad eléctrica. Se colocó 80 mL de muestra mantenida a 20 °C, en un vaso de precipitación de 120 mL de capacidad, se introdujo el electrodo para obtener por lectura directa, el valor de conductividad eléctrica de la muestra. Después de cada medición se lavó el electrodo con agua destilada y se secó cuidadosamente con un papel absorbente para no dañar el electrodo. De esta forma se procedió tanto con la miel como con los jarabes de azúcar de 20, 40 ó 60 °Brix.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 MEDICIÓN DE LA VISCOSIDAD DE MIEL DE PANELA Y JARABES DE AZÚCAR MEDIANTE EL NUEVO ENSAYO INSTRUMENTAL

3.1.1 MEDICIÓN DE ESFUERZO, TIEMPO Y ÁREA PARA MIEL DE PANELA Y JARABES DE AZÚCAR, EN EL TEXTURÓMETRO TA-XT2i

Para trabajar en el nuevo ensayo instrumental se seleccionaron las condiciones de operación del equipo, es decir, los parámetros de operatividad del ensayo y la macro para el cálculo de los parámetros esfuerzo, tiempo y área correspondientes a los gráficos de cada medición.

De acuerdo con el software utilizado (Texture Expert), las unidades disponibles para la medición instrumental del esfuerzo fueron: Mega Pascales (MPa), Newton sobre milímetro cuadrado (N/mm2) y libras-fuerza sobre pulgada cuadrada (lb*/pul^2). Sin embargo, debido a los valores muy pequeños en MPa, se fijó los parámetros de medición: esfuerzo en (lb*/pul^2), tiempo en segundos (s) y área en (lb*/pul^2) (s). De esta forma, para el cálculo de la viscosidad en (Pa), los resultados obtenidos en el sistema inglés fueron convertidos al sistema internacional de unidades (Steffe, 1996)

Después de cada determinación (ensayo), el programa reporta la tabla de resultados y el gráfico de los parámetros: esfuerzo inicial y final en (lb*/pul^2), el tiempo que se demora en ejecutar el ensayo en segundos (s) y el área en [(lb*/pul^2)•s], como se puede observar, en forma de tabla y gráfico, en la Figura 3.1 y en el Anexo VI.

El resultado del esfuerzo inicial que reporta el programa, es la fuerza que necesita ejercer el brazo del texturómetro y se trasmite a través del émbolo de la jeringuilla sobre la superficie del líquido para que empiece a fluir, es decir, la fuerza

necesaria sobre el área de contacto con el líquido para iniciar la ejecución del ensayo.

a)

Parámetros	No.	Valor	Unidades
Esfuerzo inicial	1	0,1690	lb*/pul^2
Esfuerzo final	2	0,8390	lb*/pul^2
Tiempo	1	8,0000	s
Área	1-2	3,6870	(lb*/pul^2)·s

b)

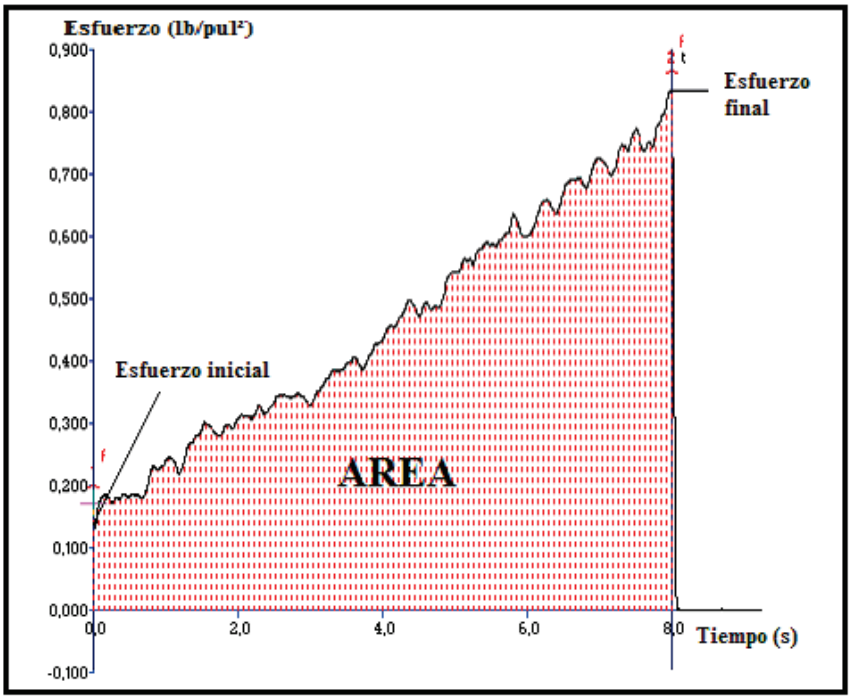

Figura 3.1. Reporte de resultados con el Texturómetro TA-XT2i: a) Forma tabulada; b) Forma gráfica de una medición del tratamiento a_0b_1 a 20 °C

El resultado del esfuerzo final que reporta el programa, es la fuerza máxima que necesita ejercer el brazo del texturómetro, trasmitida a través del émbolo de la jeringuilla sobre la superficie del líquido durante la ejecución del ensayo, es decir, la fuerza máxima requerida sobre el área de contacto para desalojar una cantidad predeterminada del líquido durante el ensayo.

El tiempo, es la duración del ensayo, es decir, los segundos que tarda el brazo del texturómetro desde el momento que el líquido empieza a fluir hasta que se ha

desalojado el volumen predeterminado, mediante el esfuerzo del brazo del texturómetro a través del émbolo de la jeringuilla.

Se ha asumido como viscosidad al área bajo la curva del gráfico que se reporta de la Figura 3.1, delimitada por el esfuerzo inicial, el esfuerzo final y el tiempo requerido para la ejecución del ensayo. La variación del esfuerzo se puede asumir como diferencia de esfuerzos y al considerar el tiempo se tiene en unidades de viscosidad.

Como ejemplo se presentan los datos de una determinación del tratamiento a_0b_1 (miel de panela de 20 °Brix) de la primera réplica obtenidos de acuerdo al procedimiento de ejecución del ensayo. Para cada tratamiento se realizó cinco determinaciones como se observa en la Tabla 3.1., donde los resultados de las cinco determinaciones, reportados por el programa Texture Expert, fueron ingresados a una hoja de cálculo de Excel, a través de la cual se obtuvo el promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación (Cv).

Tabla 3.1. Datos de cinco determinaciones ejecutadas en el analizador de textura TA-XT2i para el tratamiento a0b1 (miel de panela a 20 °Brix)

TRATAMIENTO a_0b_1 (Miel de panela a 20 °Brix)				
Determinaciones No.	**Presión inicial (lb*/pul^2)**	**Presión final (lb*/pul^2)**	**Tiempo (s)**	**Área (μ) (lb*/pul^2)·s**
1	0,1730	0,7880	7,9150	3,4810
2	0,1690	0,8390	8,0000	3,6870
3	0,1710	0,8820	7,7800	3,8630
4	0,1810	0,9550	7,9800	3,8870
5	0,1700	0,9280	8,0000	3,8620
Promedio	0,1728	0,8784	7,9350	3,7560
Desv.	0,0048	0,0672	0,0934	0,1734
Cv	2,7874	7,6507	1,1772	4,6159

Los datos experimentales que se consideran válidos en ensayos instrumentales de textura presentan coeficientes de variación no mayores al 10% (Stable Micro Systems, 1997b); criterio metodológico que también se utilizó en el presente

estudio para el tratamiento de la Tabla 3.1 y para las 5 determinaciones del resto de tratamientos y sus 3 réplicas, reportadas en los Anexos VII, VIII y IX.

Tabla 3.2. Resultados promedios por replica de las mediciones efectuadas en el analizador de textura TA-XT2i para el tratamiento a_0b_1 (Miel de panela a 20 °Brix)

Tratamientos	Repeticiones	Presión inicial (lb*/pul^2)	Presión final (lb*/pul^2)	Tiempo (s)	Área (µ) (lb*/pul^2)·s
Miel de panela a 20 °Brix	1	0,1728	0,8784	7,9350	3,4810
	2	0,1972	0,7220	7,7490	3,6870
	3	0,2184	0,6796	7,8170	3,8630
	Promedio	**0,1961**	**0,7600**	**7,8337**	**3,8870**

Tabla 3.3. Valores promedio* por tratamiento de las mediciones efectuadas en el analizador de textura TA-XT2i a 20 °C

Tratamientos	Presión inicial (lb*/pul^2)	Presión final (lb*/pul^2)	Tiempo (s)	Área (µ) (lb*/pul^2)·s
a_0b_0 (Miel de panela a 0 °Brix)	0,1690	0,4455	7,7993	2,3881
a_0b_1 (Miel de panela a 20 °Brix)	0,1961	0,7600	7,8337	3,7777
a_0b_2 (Miel de panela a 40 °Brix)	0,2177	0,9827	7,7970	4,7863
a_0b_3 (Miel de panela a 60 °Brix)	0,3626	1,4043	7,7160	6,9606
a_1b_0 (Jarabe de azúcar morena a 0 °Brix)	0,1697	0,4619	7,5207	2,2280
a_1b_1 (Jarabe de azúcar morena a 20 °Brix)	0,1745	0,7393	7,8057	3,4462
a_1b_2 (Jarabe de azúcar morena a 40 °Brix)	0,2081	0,9647	7,8800	4,4969
a_1b_3 (Jarabe de azúcar morena a 60 °Brix)	0,3303	1,3019	7,6710	6,4774
a_2b_0 (Jarabe de azúcar blanca a 0 °Brix)	0,1713	0,5001	7,7090	2,5947
a_2b_1 (Jarabe de azúcar blanca a 20 °Brix)	0,1713	0,6167	7,8617	3,0470
a_2b_2 (Jarabe de azúcar blanca a 40 °Brix)	0,2372	0,8372	7,6800	4,1513
a_2b_3 (Jarabe de azúcar blanca a 60 °Brix)	0,3347	1,1427	7,8167	6,0872

*Valores promedio de 5 determinaciones y 3 réplicas (n=15). Para el caso de los tratamientos a_0b_0, a_1b_0 y a_2b_0 (0 °Brix) se utilizó agua destilada a 20 °C

En la Tabla 3.2 se reporta por réplica, los valores promedios correspondientes a las 5 determinaciones del tratamiento a_0b_1, tomado como ejemplo. En el Anexo X se tiene los promedios por réplica de los 11 tratamientos restantes. Finalmente, los resultados promedio por tratamiento, correspondientes a las 3 réplicas y las 5 determinaciones instrumentales están contenidos en la Tabla 3.3.

Los valores de esfuerzo (presión) y de área (viscosidad) de la Tabla 3.3, evidencian que la temperatura de ejecución del ensayo (20 °C), depende de la concentración de sólidos solubles presentes en la muestra.

En el tratamiento a_0b_0 (Miel de panela a 0 °Brix) el área expresada en unidades de viscosidad, por consiguiente considerada como viscosidad fue de 2,3881 lb*/pul•s. En a_0b_1 (Miel de panela a 20 °Brix) de 3,7777 lb*/pul. En a_0b_2 (Miel de panela a 40 °Brix) de 4,7863 lb*/pul•s y en a_0b_3 (Miel de panela a 60 °Brix) de 6,9606 lb*/pul•s, con lo dicho, a medida que se aumente la cantidad de sólidos solubles en la muestra, la viscosidad también se incrementa, es decir, la concentración y la viscosidad están relacionadas directamente.

3.1.2 CONVERSIÓN DE UNIDADES AL SISTEMA INTERNACIONAL

Para reportar los valores del área bajo la curva de la Tabla 3.3 en las unidades de viscosidad (Pa s) del sistema internacional (Tabla 3.4), se utilizaron los siguientes factores de conversión, reportados en Steffe, (1996):

1 (lb*) = 4,448 (N); 1 pul = 0,0254 m; y 1 N/m^2 = 1 Pa

Al graficar el área bajo la curva versus la concentración de sólidos solubles de miel de panela y jarabe de azúcar morena y blanca, se evidencia que, al aumentar la concentración de sólidos solubles en las muestras, el área bajo la curva obtenida de las mediciones instrumentales y expresada en unidades de viscosidad (Pa s) fue creciente como se aprecia en la Figura 3.2. La variación de este parámetro instrumental en función del contenido de sólidos solubles se ajusta al modelo exponencial. Los valores de (r), (R2), error estándar y probabilidad (p-value) de miel de panela y jarabes de azúcar estuvieron en rangos de 0,9850 a 0,9959; 97,0238 a 99,1945%; 0,0494 a 0,0794; y 0,0041 a 0,0150, respectivamente. Estos valores respaldan la validez de la relación entre la medida instrumental del área bajo la curva, obtenida en el texturómetro TA-XT2i y la concentración de sólidos solubles de las muestras desde 0 a 60 °Brix.

Tabla 3.4. Área bajo la curva, promedio y por réplica, obtenida con el analizador de textura TA-XT2i 20 °C y expresada en unidades de viscosidad del sistema internacional

Tratamientos	Área (μ) (Pa·s)			
	R1	R2	R3	Promedio
a_0b_0 (Miel de panela a 0 °Brix)	17 642,2192	15 342,1394	16 412,2005	16 465,5197
a_0b_1 (Miel de panela a 20 °Brix)	25 896,5826	26 306,1291	25 936,5720	26 046,4279
a_0b_2 (Miel de panela a 40 °Brix)	35 438,8803	30 562,9316	32 999,5270	33 000,4463
a_0b_3 (Miel de panela a 60 °Brix)	47 897, 6462	48 458,8767	47 617,7204	47 991,4144
a_1b_0 (Jarabe de azúcar morena a 0 °Brix)	14 841,5824	16 012,3065	15 230,4449	15 361,4446
a_1b_1 (Jarabe de azúcar morena a 20 °Brix)	23 733,0182	23 683,3762	23 865,3969	23 760,5971
a_1b_2 (Jarabe de azúcar morena a 40 °Brix)	32 020,4762	29 692,8175	31 302,0460	31 005,1132
a_1b_3 (Jarabe de azúcar morena a 60 °Brix)	44 825,3572	45 062,5357	44 091,7586	44 659,8839
a_2b_0 (Jarabe de azúcar blanca a 0 °Brix)	18 659,8805	16 354,2848	18 654,3647	17 889,5100
a_2b_1 (Jarabe de azúcar blanca a 20 °Brix)	21 093,7180	20 529,7296	21 401,2226	21 008,2234
a_2b_2 (Jarabe de azúcar blanca a 40 °Brix)	28 261,4728	29 015,7556	28 588,2827	28 621,8370
a_2b_3 (Jarabe de azúcar blanca a 60 °Brix)	42 274,3094	41 903,3733	41 731,0052	41 969,5627

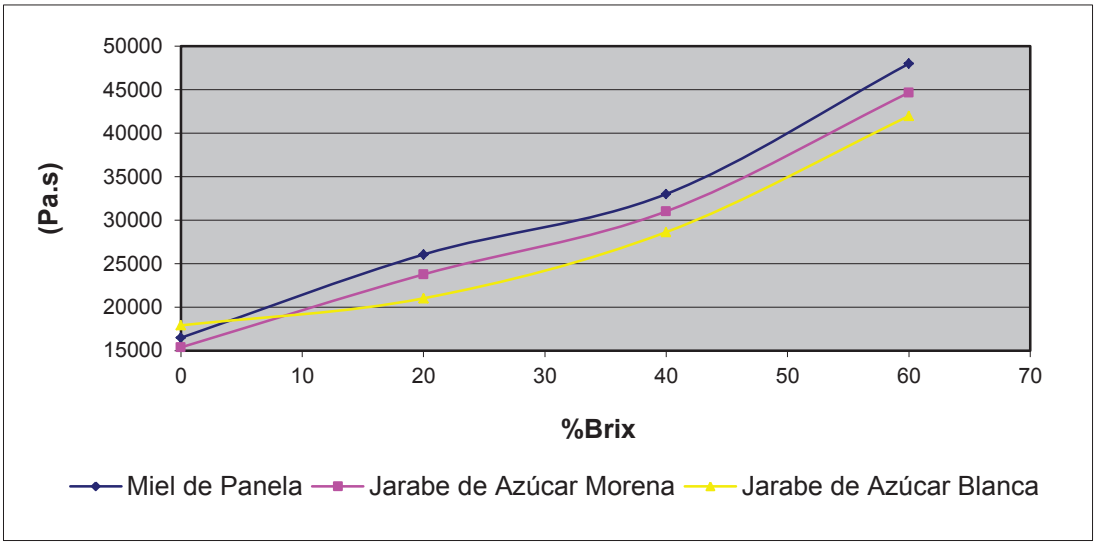

Figura 3.2. Relación entre el área bajo la curva y el porcentaje de sólidos solubles, en miel de panela y jarabes de azúcar a 20 °C

Del mismo modo, para el cálculo de la viscosidad en (Pa•s) a partir de la diferencia de presión y un caudal conocido (Singh y Heldman, 2009; Vliet, 2001), se obtuvo la diferencia de esfuerzo. La diferencia de esfuerzo fue el resultado de la resta entre los valores de esfuerzo final e inicial, reportados en el Anexo XI para todas las mediciones instrumentales en (lb*/pul^2), registradas en el texturómetro

TA.XT2i. Esta diferencia de esfuerzo expresada en unidades de presión del sistema inglés, fue transformada al sistema internacional mediante los factores de conversión ya indicados (1 (lb*) = 4,448 (N); 1 pul = 0,0254 m; y 1 N/m^2 = 1 Pa). A manera de ejemplo, en la Tabla 3.5, se presentan los valores de diferencia de esfuerzo obtenidos para el tratamiento a_0b_1. El resto de valores por réplica y por tratamiento están reportados en los Anexos IX, X, XI.

Tabla 3.5. Diferencia de esfuerzo en unidades de presión del sistema inglés (lb*/pul^2) y del sistema internacional (Pa) para el tratamiento a_0b_1 (miel de panela a 20 °Brix) a 20 °C

Tratamiento a_0b_1 (Miel de panela a 20 °Brix)		
Determinaciones No.	**Diferencia de esfuerzos ΔP (lb*/pul^2)**	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**
1	0,6150	4 240,2551
2	0,6700	4 619,4649
3	0,7110	4 902,1486
4	0,7740	5 336,5162
5	0,7580	5 226,2006
Promedio	0,7056	4 864,9171
Desv.	0,0651	448,5440
Cv	9,220	9,2200

3.1.3 CÁLCULO DE VISCOSIDAD POR DIFERENCIA DE PRESIÓN

La viscosidad se determinó a través de la Ecuación 22, basada en la diferencia de presión, parámetros geométricos y las características propias de un fluido newtoniano (Singh y Heldman, 2009).

$$\mu = \frac{\Delta P R^4}{8L\dot{V}} \qquad [22]$$

Dónde:

ΔP: Diferencia de presión

R^4: Radio interno del capilar del viscosímetro

L: Longitud del capilar del viscosímetro

$\dot{V}$: Caudal

Como ya se indicó, la diferencia de presión (ΔP), es la diferencia de esfuerzo en (Pa) reportada en la Tabla 3.5 y en los Anexos XI, XII, XIII.

El radio interno del capilar del viscosímetro, en este caso fue equivalente a la mitad del diámetro del émbolo, que está en contacto con la muestra, en el interior de la jeringuilla. El valor del radio de 7,37 mm fue constante para todos los ensayos, por lo tanto, cuadruplicado y expresado en metros, correspondió al R4 de la ecuación reportada en Singh y Heldman, 2009.

La longitud del capilar del viscosímetro, fue la distancia que recorre el émbolo en el interior de la jeringuilla hasta desalojar un volumen conocido de miel o jarabe. Esta distancia fue 12 mm, fue constante para todos los ensayos y, expresada en metros correspondió al término (L) de la Ecuación 22.

El caudal se determinó al relacionar el volumen utilizado de miel o jarabe y el tiempo que tardó en ser desalojada la muestra por efecto del esfuerzo ejercido a través del émbolo de la jeringuilla. En todos los ensayos, el volumen utilizado fue de 3 cm^3. Este valor convertido a m^3 [1 cm^3= $(0,01\ m)^3$] y dividido para el tiempo (s) establecido, equivale al término ($\dot{V}$) de la Ecuación 22.

Finalmente, al remplazar todos los términos analizados en la Ecuación 22, se obtuvo la viscosidad (Pa•s). Este cálculo se realizó con la ayuda de una hoja de cálculo de Excel, de igual manera, se obtuvo el promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variación de las cinco determinaciones de todos los tratamientos y sus réplicas que se presentan en los Anexos XIV, XV, XVI y XVII.

Como ejemplo de las cinco mediciones efectuadas para cada ensayo o tratamiento, la Tabla 3.6 muestra para el tratamiento a_0b_1, los parámetros considerados para el cálculo de la viscosidad según la Ecuación 22. En la Tabla

3.7, se observa para el mismo tratamiento a_0b_1, los valores promedios por réplica de: tiempo de duración del ensayo, caudal y viscosidad. En cuanto al resto de tratamientos, en los Anexos XIV, XV, XVI se muestran los resultados de las cinco determinaciones por tratamiento y en el Anexo XVII, los obtenidos por réplica.

Tabla 3.6. Parámetros considerados para la obtención de la viscosidad con la Ecuación 22, tratamiento a_0b_1 (Miel de panela a 20 °Brix) por medición a 20 °C

TRATAMIENTO a_0b_1 (Miel de panela a 20 °Brix)							
Determinaciones No.	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**	***Radio interno Jeringuilla R^4 (m^4)**	***Longitud desplazada L (m)**	***Volumen de muestra (m^3)**	**Tiempo de ensayo (s)**	**Caudal (m^3/s)**	**Viscosidad Pa·s**
1	4 240,2551	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,9150	3,7903E-07	1 083,0522
2	4 619,4649	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	8,0000	3,7500E-07	1 192,5818
3	4 902,1486	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,7800	3,8560E-07	1 230,7577
4	5 336,5162	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,9800	3,7594E-07	1 374,2547
5	5 226,2006	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	8,0000	3,7500E-07	1 349,2194
Promedio	4 864,9171	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,9350	3,7811E-07	1 245,9732
Desv.	448,5440	0,0000	0,0000	0,0000	0,0934	4,5016E-09	119,1022
Cv	9,2200	0,0000	0,0000	0,0000	1,1772	1,1905E+00	9,5590

*Valores constantes en todos los ensayos

Tabla 3.7. Parámetros variables considerados para la obtención de la viscosidad con la Ecuación 22, tratamiento a_0b_1 (Miel de panela a 20 °Brix) por réplica a 20 °C

Tratamiento	**Réplica**	**Tiempo T (s)**	**Caudal (m^3/s)**	**Viscosidad (Pa·s)**
Miel de panela a 20 °Brix	1	7,9350	3,7811E-07	1 245,9732
	2	7,7490	3,8775E-07	902,3129
	3	7,8170	3,8405E-07	803,0670
	Promedio	7,8337	3,8330E-07	983,7843

Con base en los Anexos XIV, XV, XVI y XVII, se presenta en la Tabla 3.8, los resultados por tratamiento de la diferencia de presión, caudal volumétrico y viscosidad, por lo tanto, cada valor de la Tabla 3.8 corresponde al promedio de cinco mediciones y tres réplicas.

Los valores de viscosidad determinados matemáticamente, mantuvieron relación directa al comparar con los niveles utilizados de concentración de sólidos

solubles. Por ejemplo, en el tratamiento a_0b_0 (Miel de panela a 0 °Brix) la viscosidad fue de 479,3324 Pa•s; en a_0b_1 (Miel de panela a 20 °Brix) de 983,7843 Pa•s; en a_0b_2 (Miel de panela a 40 °Brix) de 1326,0155 Pa•s y en a_0b_3 (Miel de panela a 60 °Brix) de 1784,8919 Pa•s.

Tabla 3.8. Diferencia de esfuerzos, caudal volumétrico y viscosidad promedio de miel de panela y jarabes de azúcar a diferentes concentraciones a 20 °C

Tratamientos	Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)	*Caudal (m^3/s)	*Viscosidad Pa*s
a_0b_0 (Miel de panela a 0 °Brix)	1 906,6210	3,8511E-07	479,3324
a_0b_1 (Miel de panela a 20 °Brix)	3 887,7049	3,8330E-07	983,7843
a_0b_2 (Miel de panela a 40 °Brix)	5 274,9233	3,8491E-07	1 326,0155
a_0b_3 (Miel de panela a 60 °Brix)	7 182,0039	3,8931E-07	1 784,8919
a_1b_0 (Jarabe de azúcar morena a 0 °Brix)	2 015,0979	3,9992E-07	488,2331
a_1b_1 (Jarabe de azúcar morena a 20 °Brix)	3 894,5996	3,8473E-07	979,9709
a_1b_2 (Jarabe de azúcar morena a 40 °Brix)	5 216,5480	3,8088E-07	1 324,1699
a_1b_3 (Jarabe de azúcar morena a 60 °Brix)	6 699,3733	3,9180E-07	1 654,7047
a_2b_0 (Jarabe de azúcar blanca a 0 °Brix)	2 267,4448	3,9017E-07	564,0668
a_2b_1 (Jarabe de azúcar blanca a 20 °Brix)	3 070,4503	3,8176E-07	779,5993
a_2b_2 (Jarabe de azúcar blanca a 40 °Brix)	4 136,8343	3,9126E-07	1 026,5694
a_2b_3 (Jarabe de azúcar blanca a 60 °Brix)	5 634,3683	3,8381E-07	1 420,7020

*Valores promedio de 5 determinaciones y 3 réplicas (n=15)- Para el caso de los tratamientos a_0b_0, a_1b_0 y a_2b_0 (0 °Brix) se utilizó agua destilada a 20 °C

En la Figura 3.3 se observa la relación directa entre la viscosidad obtenida mediante la diferencia de esfuerzos y la concentración de sólidos solubles, lo cual demuestra que es válida la aplicación de la Ecuación 22 a partir de la diferencia de presión y el caudal obtenidos desde un ensayo instrumental empírico.

Aun cuando, los valores de área bajo la curva no corresponden a los establecidos mediante la Ecuación 22, precisamente, por provenir de un ensayo instrumental empírico, la variación en función al contenido de sólidos solubles es comparable tanto por área bajo la curva como por diferencia de esfuerzo, debido a que, en los dos casos la tendencia es exponencialmente creciente. Los valores de (r), (R^2), error estándar y probabilidad (p-value) de miel de panela y jarabes de azúcar

estuvieron en los rangos de 0,9631 a 0,9994; 92,7708 a 99,8262%; 0,0155 a 0,1632 y 0,0005 a 0,0368, respectivamente. Dichos valores respaldan la validez del modelo exponencial establecido, el cual explica la relación entre la viscosidad obtenida por diferencia de esfuerzo o presión (texturómetro TA-XT2i) y la concentración de sólidos solubles de muestras desde 0 a 60 °Brix.

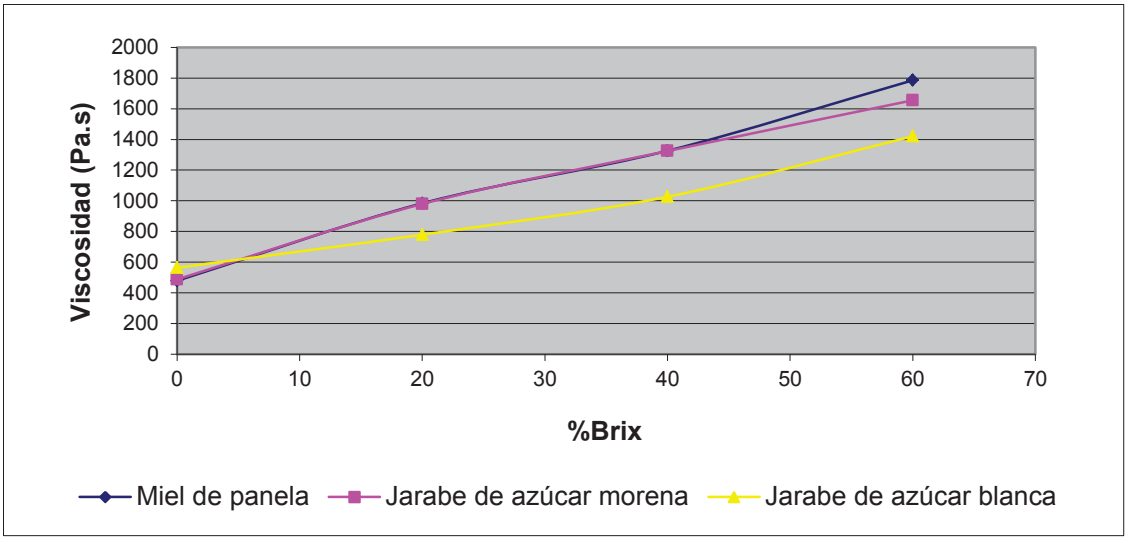

Figura 3.3. Relación entre la viscosidad calculada con la Ecuación 22 y la concentración de sólidos solubles en miel de panela y jarabes de azúcar

3.2 MEDICIÓN DE LA CONSISTENCIA DE MIEL DE PANELA Y JARABES DE AZÚCAR MEDIANTE LA PRUEBA «BACK EXTRUSION RIG» (A/BE)

Después de cada medición, mediante el software Texture Expert, fueron obtenidos los resultados en forma de tabla y gráfico, como se observa en la Figura 3.4; donde: la Fuerza 1 fue identificada como firmeza en gramos-fuerza (g*), el área bajo la curva de firmeza A FT 1-2, en gramos-fuerza por segundo (g*•s) fue la consistencia, la Fuerza 2 (g*), fue definida como cohesividad y el área bajo la curva de cohesividad A FT 3-4 (g*•s) fue la resistencia al flujo.

Estos datos fueron transferidos a una hoja Excel para la tabulación, obtención de promedios de las determinaciones y reporte de resultados que se presentan en

los Anexos XVIII, XIX, XX. Como ejemplo, los valores de firmeza, consistencia, cohesividad y resistencia al flujo del tratamiento a_0b_1 (miel de panela a 20 °Brix), son mostrados en la Tabla 3.9. Debido a la variación reducida entre mediciones, únicamente, se realizó dos determinaciones por tratamiento en las tres réplicas.

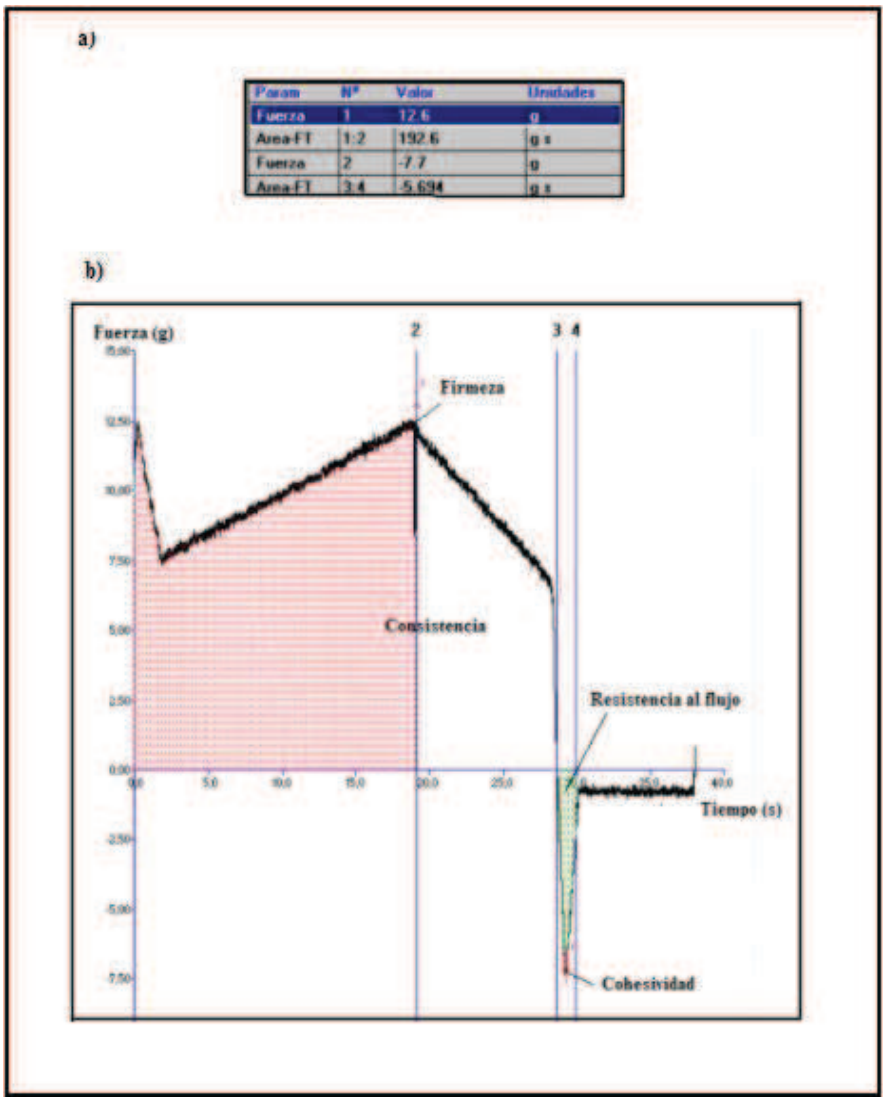

Figura 3.4. a) Resultado en forma de tabla; b) Resultado en forma gráfica. De una medición del tratamiento a_0b_1 (miel de panela a 20 °Brix) a 20 °C, con el Texturómetro TA-XT 2i con el accesorio «Back Extrusion Rig»

Los resultados de la medición instrumental de consistencia, por réplica están reportados en el Anexo XXI y los del tratamiento a0b1, tomado como ejemplo son, también presentados en la Tabla 3.10. Finalmente, los promedios por tratamiento de los parámetros del ensayo de consistencia se presentan en la Tabla 3.11.

Tabla 3.9. Determinaciones instrumentales (TA-XT2i, accesorio «Back Extrusion Rig») de firmeza, consistencia, cohesividad y resistencia al flujo del tratamiento a_0b_1 (Miel de panela a 20 °Brix) a 20 °C

TRATAMIENTO a_0b_1 (Miel de panela a 20 °Brix)				
Determinaciones No.	**Firmeza (g*)**	**Consistencia (g*·s)**	**Cohesividad (g*)**	**Resistencia al flujo (g*·s)**
1	13,7000	204,3000	-8,2000	-6,4490
2	13,8000	202,9000	-8,1000	-6,3220
Promedio	**13,7500**	**203,6000**	**-8,1500**	**-6,3855**

Tabla 3.10. Mediciones instrumentales (TA-XT2i, accesorio «Back Extrusion Rig») de firmeza, consistencia, cohesividad y resistencia al flujo del tratamiento a_0b_1 (Miel de panela a 20 °Brix) a 20 °C, expresadas por réplica

Tratamientos	**Réplicas**	***Firmeza (g*)**	***Consistencia (g*·s)**	***Cohesividad (g*)**	***Resistencia al flujo (g*·s)**
Miel de panela a 20 °Brix	1	13,7500	203,6000	-8,1500	-6,3855
	2	13,7000	203,7500	-7,5500	-5,5325
	3	13,7000	200,9000	-7,5500	-5,1890
	Promedio	**13,7167**	**202,7500**	**-7,7500**	**-5,7023**

*Valores promedio de 2 determinaciones y 3 réplicas (n=6)

La firmeza es la fuerza máxima positiva ejercida por el brazo al texturómetro para sumergir el accesorio en la muestra, al ejecutar el ensayo. Los resultados fueron reportados en gramos-fuerza (g*) y el promedio más alto de firmeza correspondió al tratamiento a_0b_3 (Miel de panela a 60°Brix) con 16,5333 g*.

La consistencia correspondió al área bajo la curva de firmeza enmarcada por la fuerza inicial necesaria para sumergir el accesorio en la muestra, la fuerza final necesaria para regresar el accesorio del interior de la muestra hacia la superficie y el tiempo. Por lo tanto, las unidades de este parámetro fueron gramos-fuerza segundo (g*•s) y el promedio más alto de consistencia correspondió al tratamiento a_2b_3 (jarabe de azúcar blanca a 60 °Brix) con 245,5167 g*·s.

La cohesividad es la fuerza máxima negativa registrada durante la ejecución del ensayo. Este parámetro fue interpretado como la capacidad de adherencia que

presenta la miel de panela o los jarabes de azúcar al momento del retorno del accesorio del texturómetro. El promedio más negativo de cohesividad fue de - 10,6000 g* y correspondió a los tratamiento a_0b_3 (Miel de panela a 60 °Brix) y a_1b_3 (Jarabe de azúcar morena a 60 °Brix).

Tabla 3.11. Promedios globales* por tratamiento del ensayo de consistencia ejecutado en el analizador TA-XT2i con el accesorio «Back Extrusion Rig», a 20 °C

Tratamientos	*Firmeza (g*)	*Consistencia (g*·s)	*Cohesividad (g*)	*Resistencia al flujo (g*·s)
a_0b_0 (Miel de panela a 0 °Brix)	12,6667	190,3000	-7,1167	-5,2727
a_0b_1 (Miel de panela a 20 °Brix)	13,7167	202,7500	-7,7500	-5,7023
a_0b_2 (Miel de panela a 40 °Brix)	14,9500	221,4833	-8,5000	-6,7183
a_0b_3 (Miel de panela a 60 °Brix)	16,5333	247,1667	-10,6000	-10,3847
a_1b_0 (Jarabe de azúcar morena a 0 °Brix)	12,7167	188,0833	-6,9333	-5,1380
a_1b_1 (Jarabe de azúcar morena a 20 °Brix)	13,6667	203,5667	-7,2167	-5,2492
a_1b_2 (Jarabe de azúcar morena a 40 °Brix)	14,8833	221,6167	-8,0667	-6,0907
a_1b_3 (Jarabe de azúcar morena a 60 °Brix)	16,4500	244,7833	-10,6000	-10,1795
a_2b_0 (Jarabe de azúcar blanca a 0 °Brix)	12,6167	189,5500	-6,9000	-5,0270
a_2b_1 (Jarabe de azúcar blanca a 20 °Brix)	13,7333	205,7667	-6,9833	-4,8788
a_2b_2 (Jarabe de azúcar blanca a 40 °Brix)	14,9333	220,6667	-7,9500	-5,9345
a_2b_3 (Jarabe de azúcar blanca a 60 °Brix)	16,4167	245,5167	-10,1333	-9,6188

*Valores promedio de 2 determinaciones y 3 réplicas (n=6). Para el caso de los tratamientos a0b0, a1b0 y a2b0 (0 °Brix) se utilizó agua destilada a 20 °C

La resistencia al flujo, es el área negativa bajo la curva de cohesividad, delimitada por la variación en la fuerza debido al efecto de adherencia de la muestra durante el retorno, hasta emerger el accesorio totalmente de la muestra. Este parámetro fue reportado en gramos fuerza segundo y el tratamiento más resistente al flujo o de área más negativa fue a_0b_3 (Miel de panela a 60 °Brix) con -10,3847 g*·s

Entre la firmeza, consistencia, cohesividad y resistencia al flujo, la consistencia es el parámetro que mejor explica la relación directa entre la concentración y el ensayo instrumental de consistencia, como se puede apreciar en la Figura 3.5, es decir, a medida que se incrementa la concentración de sólidos solubles en la

muestra, la consistencia también aumentara su valor, sin embargo los valores de consistencia entre mieles y jarabes fueron similares.

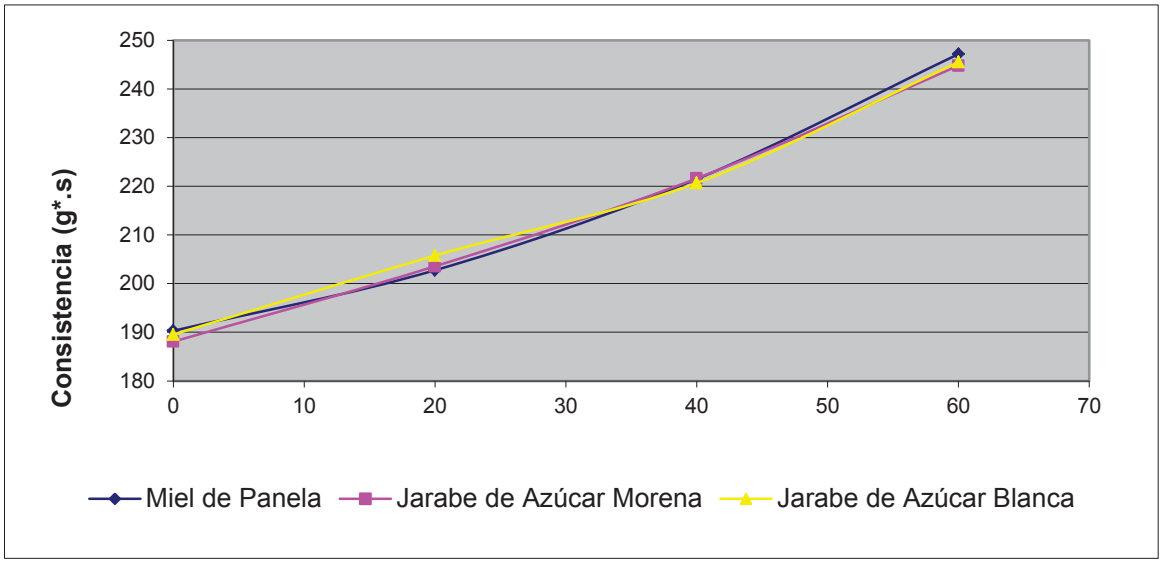

Figura 3.5. Relación entre la consistencia y la concentración de sólidos solubles en miel de panela y jarabes de azúcar

La variación de la consistencia en miel de panela y jarabe de azúcar en función del contenido de sólidos solubles se ajustó al modelo exponencial. Los valores de (r), (R^2), error estándar y probabilidad (p-value), estuvieron en el rango de 0,9930 a 0,9986; 98,6081 a 99,7218% y 0,0014 a 0,0070, respectivamente. Estos valores respaldaron la validez de la relación entre la consistencia obtenida en el texturómetro TA-XT2i accesorio «Back Extrusion Rig» (A/BE) y la concentración de sólidos solubles de muestras desde 0 a 60 °Brix.

3.3 MEDICIÓN DE VISCOSIDAD ABSOLUTA DE MIEL DE PANELA Y JARABES DE AZÚCAR MEDIANTE LOS VISCOSÍMETROS DE TUBO CAPILAR CANNON-FENSKE

Para el cálculo de la viscosidad absoluta por esta prueba, se realizó tres determinaciones, se aplicó la 23, y del mismo modo que en las secciones anteriores, los resultados del tratamiento a_0b_1 (Miel de panela a 20 °Brix, por

determinación de la primera réplica), son presentados en la Tabla 3.12, mientras que el resto de resultados están contenidos en los Anexos XXII, XXIII y XXIV.

Tabla 3.12. Tiempos de flujo a través del viscosímetro de tubo capilar Cannon-Fenske, gravedad específica y viscosidad absoluta a 20 °C, para las determinaciones de la primera réplica del tratamiento a_0b_1 (Miel de panela a 20 °Brix)

Tratamiento a_0b_1(Miel de panela a 20 °Brix)				
Determinaciones No.	**Tiempo recorrido agua (s)**	**Tiempo recorrido muestra (s)**	**Gravedad específica**	**Viscosidad absoluta (Pa·s)**
1	243,0000	432,0000	1,0789	1,9920E-03
2	243,0000	434,0000	1,1003	1,9690E-03
3	243,0000	433,0000	1,0828	1,9334E-03
Promedio	**243,0000**	**433,0000**	**1,0874**	**1,9415E-03**

Con la ayuda de una hoja Excel, en la Tabla 3.13 se tiene los resultados de esta prueba y la viscosidad absoluta calculada por réplica correspondiente al tratamiento a_0b_1. Para el resto de tratamientos por réplicas, los resultados son presentados en el Anexo XXV. En la Tabla 3.14 se presentan los promedios globales de todos los tratamientos correspondientes a tiempo de flujo, gravedad específica y viscosidad absoluta en (Pa·s).

Tabla 3.13. Tiempos de flujo a través del viscosímetro de tubo capilar Cannon-Fenske, gravedad específica y viscosidad absoluta a 20 °C, por réplicas del tratamiento a_0b_1 (Miel de panela a 20 °Brix)

Tratamientos	**Réplica**	**Tiempo recorrido agua (s)**	**Tempo recorrido muestra (s)**	**Gravedad específica**	**Viscosidad muestra (Pa·s)**
Miel de panela a 20 °Brix	1	243,0000	433,0000	1,0874	1,9415E-03
	2	228,0000	407,3333	1,0845	1,9413E-03
	3	227,6667	409,0000	1,0840	1,9513E-03
	Promedio	**232,8889**	**416,4444**	**1,0853**	**1,9447E-03**

El tiempo de flujo del agua, varió dependiendo del diámetro del capilar del viscosímetro utilizado o tamaño ASTM. De esta forma, para los tratamientos de 0

y 20 °Brix (capilar ASTM 50), el valor de flujo de agua fue similar y el más alto; para los tratamientos a 40 °Brix (capilar ASTM 100), el valor de flujo de agua descendió y, para los tratamientos a 60 °Brix (capilar ASTM 200), el valor de flujo de agua fue el más bajo.

Tabla 3.14. Promedios globales por tratamiento de los resultados obtenidos con el método de la AOAC (AOAC, 2005a) mediante los viscosímetros Cannon-Fenske

Tratamientos	*Tiempo recorrido agua (s)	*Tiempo recorrido muestra (s)	*Gravedad específica	*Viscosidad muestra (Pa·s)
a_0b_0 (Miel de panela a 0 °Brix)	232,8889	232,8889	1,0000	1,0020E-03
a_0b_1 (Miel de panela a 20 °Brix)	232,8889	416,4444	1,0853	1,9447E-03
a_0b_2 (Miel de panela a 40 °Brix)	64,6667	338,3333	1,1839	6,2075E-03
a_0b_3 (Miel de panela a 60 °Brix)	12,0000	562,3333	1,2943	6,0874E-03
a_1b_0 (Jarabe de azúcar morena a 0 °Brix)	230,0000	230,0000	1,0000	1,00020E-03
a_1b_1 (Jarabe de azúcar morena a 20 °Brix)	230,0000	408,0000	1,0805	1,9207E-03
a_1b_2 (Jarabe de azúcar morena a 40 °Brix)	64,0000	330,5556	1,1764	6,0881E-03
a_1b_3 (Jarabe de azúcar morena a 60 °Brix)	11,8889	523,5556	1,2763	5,6347E-03
a_2b_0 (Jarabe de azúcar blanca a 0 °Brix)	227,8889	227,8889	1,0274	1,0295E-03
a_2b_1 (Jarabe de azúcar blanca a 20 °Brix)	227,8889	398,1111	1,0820	1,8939E-03
a_2b_2 (Jarabe de azúcar blanca a 40 °Brix)	63,7778	319,1111	1,1766	5,8990E-03
a_2b_3 (Jarabe de azúcar blanca a 60 °Brix)	12,0000	459,5556	1,2870	4,9385E-03

*Valores promedio de 3 determinaciones y 3 réplicas (n=9). Para el caso de los tratamientos a_0b_0, a_1b_0 y a_2b_0 (0 °Brix) se utilizó agua destilada a 20 °C y los viscosímetros de tamaños ASTM 50, ASTM 100 y ASTM 200, respectivamente

El tiempo de flujo de las muestras de miel de panela y jarabes de azúcar, también varió de acuerdo al diámetro del capilar del viscosímetro. Para todos los tratamientos en promedio se observó tendencia creciente de 0 a 20 y a 60 °Brix. A 40 °Brix, el tiempo de flujo descendió respecto a 20 °Brix, tanto para la miel de panela como para los jarabes de azúcar y dado que para cada réplica se preparó nuevas muestras, se asumió que existe alguna imperfección en el capilar 100 AST que no fue evidente para agua y tampoco altero la tendencia creciente de la viscosidad como se puede observar en la Figura 3.6. El tratamiento con mayor tiempo de flujo (562,33 s) fue a_0b_3 con el viscosímetro ASTM 200. Los valores de gravedad específica variaron de forma creciente de acuerdo al contenido de

sólidos solubles o °Brix de la muestra. Por lo tanto, el valor más bajo fue para agua (0 °Brix) y los valores más altos se obtuvieron a 60 °Brix como se observa en la Tabla 3.14.

La variación de la viscosidad absoluta en función de la concentración de la miel de panela y los jarabes de azúcar es mostrada en la Figura 3.6. La relación entre estas dos variables fue directa, pero el mayor incremento de la viscosidad absoluta se presentó de 40 a 60 °Brix en concordancia con el aumento de la viscosidad de soluciones de sacarosa de similares concentraciones, reportado en Bourne (2002). Como ejemplo se resalta que en la miel de panela con 20 °Brix, la viscosidad fue de 1,9447E-03 Pa•s, con 40 °Brix fue de 6,2075E-03 Pa•s y con 60 °Brix fue 6,0874E-02 Pa·s. Esta tendencia de crecimiento de la viscosidad, también fue establecida para jarabe de azúcar morena y jarabe de azúcar blanca.

La variación de la viscosidad absoluta en miel de panela y jarabes de azúcar respecto al contenido de sólidos solubles se ajustó al modelo exponencial. Los valores de r, R2, error estándar y probabilidad (p-value) estuvieron en los rangos de 0,9647 a 0,9658; 93,08 a 93,287%; 0,5406 a 0,5811; y 0,0341 a 0,0352, respectivamente. Con estos valores se comprobó la existencia de la relación entre la viscosidad absoluta obtenida en el viscosímetro de tubo capilar tipo Cannon-Fenske y la concentración de sólidos solubles de muestras de 0 a 60 °Brix.

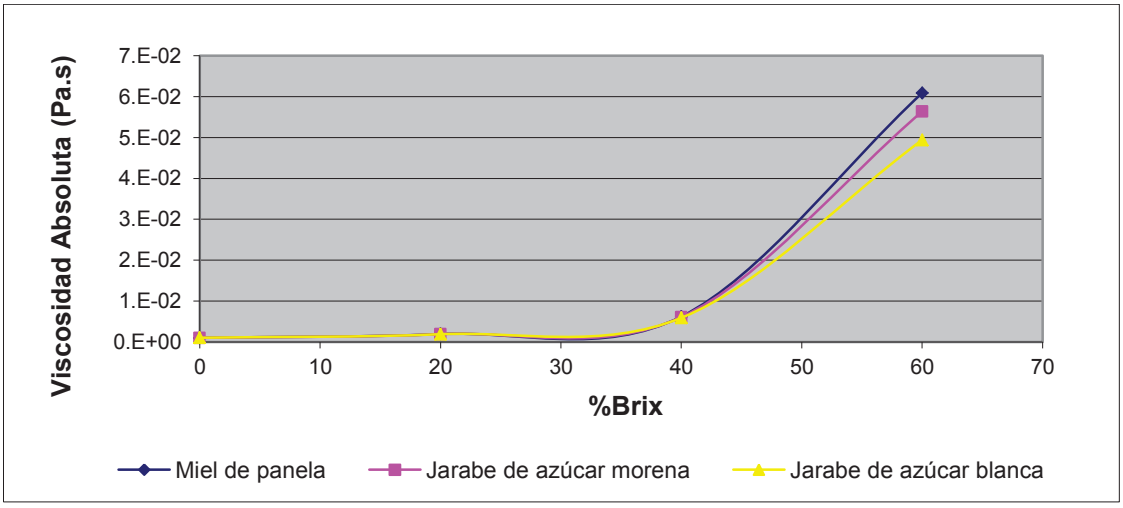

Figura 3.6. Relación directa entre la viscosidad absoluta y el porcentaje de sólidos solubles presentes en miel de panela y jarabes de azúcar a 20, 40 y 60 °Brix

3.4 VALIDACIÓN DEL NUEVO ENSAYO INSTRUMENTAL

A más de verificar que el comportamiento de las mediciones instrumentales de la viscosidad en función de la concentración de sólidos solubles, se ajustó a los principios teóricos reportados en Bourne, 2002 y Steffe, 1996, se validaron las mediciones instrumentales del nuevo ensayo a través de los siguientes métodos estadísticos:

- Análisis de varianza de las mediciones instrumentales de viscosidad (área bajo la curva, TA-XT2i), viscosidad calculada por diferencia de esfuerzo instrumental (TA-XT2i, Ecuación 22), viscosidad absoluta (viscosímetros Cannon-Fenske) y consistencia instrumental («Back Extrusion Rig», TA-XT2i).

- Correlación de las mediciones instrumentales de viscosidad con el nuevo ensayo en función de la viscosidad absoluta y la consistencia.

3.4.1 ANÁLISIS DE VARIANZA DE LAS MEDICIONES DE VISCOSIDAD POR EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE SÓLIDOS SOLUBLES Y EL TIPO DE MUESTRA

La sensibilidad de las mediciones instrumentales de viscosidad, viscosidad absoluta y consistencia por influencia de la concentración y el tipo de muestra, fue evaluada mediante análisis de varianza. En la Tabla 3.15 se presenta la matriz de valores de viscosidad y consistencia, utilizados para el análisis de varianza.

El análisis de varianza, que se reporta en el Anexo XXVI, evidencia el efecto significativo de las variables independientes: Tipo de muestra (muestra) y concentración de sólidos solubles (concentración) sobre la viscosidad obtenida mediante el nuevo ensayo instrumental (Viscosidad TXT), la viscosidad calculada mediante la Ecuación 22 y sobre la viscosidad absoluta (Viscosidad Cannon). En cuanto a la consistencia (Consistencia), la variación fue significante por efecto de la variable concentración y no significativa por tipo de muestra.

La comparación de promedios (prueba Tukey, $p < 0,05$) para determinar el nivel o los niveles con influencia en la variación significativa de las variables independientes: tipo de muestra y concentración de sólidos solubles, se presenta en la Tabla 3.16.

Los valores de viscosidad instrumental (nuevo ensayo) y viscosidad absoluta fueron diferentes tanto por tipo de muestra (rangos a, b, c), como entre los niveles de concentración evaluados (rangos a, b, c, d) lo cual es un indicativo de la alta sensibilidad de los métodos para generar valores que se diferencian tanto por tipo de muestra como por niveles de concentración. En cambio, la variación significativa de la viscosidad calculada por tipo de muestra es debida a la diferencia existente entre los valores de jarabe de azúcar blanca y miel de panela; lo cual demuestra que mediante la aplicación de la Ecuación 22 no hay diferenciación de los valores de viscosidad de azúcar morena frente a los valores de los otros dos tipos de muestras. Sin embargo, al considerar los niveles de concentración, los valores de viscosidad son estadísticamente diferentes entre sí. En cuanto a consistencia, el método no exhibe sensibilidad como para diferenciar valores de consistencia por tipo de muestra, pero si es viable la diferenciación de valores de consistencia por niveles de concentración.

Tabla 3.15. Matriz de valores de las mediciones instrumentales de viscosidad, viscosidad por diferencia de esfuerzo instrumental, viscosidad absoluta y consistencia

MUESTRA	CONCENTRACIÓN	RÉPLICA	Viscosidad TXT Pa·s	Viscosidad Ecuación Pa*s	Viscosidad Cannon Pa·s	Consistencia Kg*s
1	1	1	17 642,2192	559,5378	1,0020E-03	0,1921
1	1	2	15 342,1394	393,7542	1,0020E-03	0,1885
1	1	3	16 412,2005	484,7053	1,0020E-03	0,1904
1	2	1	25 896,5826	1 245,9732	1,9415E-03	0,2036
1	2	2	26 306,1291	902,3129	1,9413E-03	0,2038
1	2	3	25 936,5720	803,0670	1,9513E-03	0,2009
1	3	1	35 438,8803	1 455,7483	6,1975E-03	0,2222
1	3	2	30 562,9316	1 240,2953	6,1946E-03	0,2207
1	3	3	32 999,5270	1 282,0029	6,2304E-03	0,2216
1	4	1	47 897,6462	1 456,5337	6,1204E-03	0,2498
1	4	2	48 458,8767	2 029,5319	5,9393E-03	0,2464

Tabla 3.15. Matriz de valores de las mediciones instrumentales de viscosidad, viscosidad por diferencia de esfuerzo instrumental, viscosidad absoluta y consistencia (Continuación…)

MUESTRA	CONCENTRACIÓN	RÉPLICA	Viscosidad TXT Pa·s	Viscosidad Ecuación Pa*s	Viscosidad Cannon Pa·s	Consistencia Kg*s
1	4	3	47 617,7204	1 868,6101	6,2025E-03	0,2454
2	1	1	14 841,5824	529,8941	1,0020E-03	0,1884
2	1	2	16 012,3065	494,3845	1,0020E-03	0,1898
2	1	3	15 230,4449	440,4207	1,0020E-03	0,1862
2	2	1	23 733,0182	969,6128	1,9238E-03	0,2042
2	2	2	23 683,3762	1 100,5685	1,9273E-03	0,2038
2	2	3	23 865,3969	869,7314	1,9109E-03	0,2027
2	3	1	32 020,4762	1 656,0088	6,0936E-03	0,2226
2	3	2	29 692,8175	1 131,9290	6,0964E-03	0,2217
2	3	3	31 302,0460	1 184,5719	6,0742E-03	0,2206
2	4	1	44 825,3572	1 706,1371	5,6679E-03	0,2442
2	4	2	45 062,5357	1 435,7983	5,6221E-03	0,2443
2	4	3	44 091,7586	1 822,1788	5,6142E-03	0,2460
3	1	1	18 659,8805	641,6715	1,0020E-03	0,1908
3	1	2	16 354,2848	494,4077	1,0020E-03	0,1900
3	1	3	18 654,3647	556,1211	1,0020E-03	0,1879
3	2	1	21 093,7180	727,1763	1,8917E-03	0,2061
3	2	2	20 529,7296	773,4542	1,8939E-03	0,2075
3	2	3	21 401,2226	838,1674	1,8962E-03	0,2038
3	3	1	28 261,4728	1 040,1373	5,8043E-03	0,2238
3	3	2	29 015,1556	1 163,3068	5,9535E-03	0,2187
3	3	3	28 558,2827	876,2641	5,9392E-03	0,2196
3	4	1	42 274,3094	1 512,9146	4,9459E-03	0,2458
3	4	2	41 903,3733	1 344,8662	4,9385E-03	0,2465
3	4	3	41 731,0052	1 404,3253	4,9311E-03	0,2443

Tabla 3.16. Valores de viscosidad y consistencia de miel de panela y jarabes de azúcar según el tipo de muestra y concentración a 20 °C

Variables independientes Tipo de muestra	Viscosidad TXT Pa·s	Viscosidad Ecuación Pa·s	Viscosidad Cannon Pa·s	Consistencia Kg*s
Jarabe de azúcar blanca	27 372,3000 a	947,7340 a	0,0145 a	0,2145 a
Jarabe de azúcar morena	28 696,8000 b	1 111,7700 ab	0,0163 b	0,2154 a
Miel de panela	30 876,0000 c	1 143,5100 b	0,0175 c	0,2154 a

Tabla 3.16. Valores de viscosidad y consistencia de miel de panela y jarabes de azúcar según el tipo de muestra y concentración a 20 °C (Continuación…)

Variables independientes Concentración de sólidos solubles	Viscosidad TXT Pa·s	Viscosidad Ecuación Pa·s	Viscosidad Cannon Pa·s	Consistencia Kg*s
0%	16 572,2000 a	510,5440 a	0,0010 a	0,1893 a
20%	23 605,1000 b	914,4520 b	0,0019 b	0,2040 b
40%	30 875,8000 c	1 225,5800 c	0,0060 c	0,2212 c
60%	44 873,6000 d	1 620,1000 d	0,0555 d	0,2458 d

Letras diferentes en tipo de muestra y concentración por variable independiente indican diferencia significativa ($p<0,05$)

3.4.2 CORRELACIÓN DE LAS MEDICIONES INSTRUMENTALES DE VISCOSIDAD DEL NUEVO ENSAYO EN FUNCIÓN DE LAS MEDICIONES DE VISCOSIDAD ABSOLUTA Y CONSISTENCIA

Este análisis se realizó mediante regresión simple de los datos presentados en la Tabla 3.15, con base en tres aspectos importantes:

- Correlación entre resultados totales de la matriz de valores de viscosidad y consistencia

- Correlaciones de resultados de la matriz de valores de viscosidad y consistencia, agrupados por tipo de muestra

- Correlaciones de los resultados de la matriz de valores de viscosidad y consistencia, agrupados por nivel de concentración

3.4.2.1 Correlaciones de resultados totales

La correlación fue realizada mediante los diez modelos disponibles en el método de regresión simple del software Statgraphics Plus versión 4.0. Este análisis estadístico se realizó con todos los datos de la Tabla 3.15. Se ingresaron como

variables dependientes a las mediciones instrumentales de la viscosidad (área debajo de la curva)"Visc. TXT" y a la diferencia de esfuerzo instrumental (Ecuación 22) "Visc. Ecuación". Como variables independientes se consideraron a la viscosidad absoluta "Visc. Cannon" y consistencia "Consistencia".

Mediciones instrumentales de viscosidad (área bajo la curva) versus viscosidad absoluta: En la Tabla 3.17 se presenta la comparación de modelos generada mediante regresión simple de los datos totales de viscosidad por área bajo la curva versus la viscosidad absoluta. En general se encontró que la correlación entre las dos variables fue altamente significativa ($p < 0.001$), puesto que, todos los modelos generaron valores de probabilidad (p-value) bajos y correspondientes a niveles de confianza mayores que el 99,9%.

Tabla 3.17. Coeficiente de correlación, coeficiente de regresión, error estándar, probabilidad y modelos matemáticos de la regresión simple entre la viscosidad por área bajo la curva y la viscosidad absoluta

Regresión simple – Visc. TXT vs. Visc. Cannon					
Comparación entre modelos alternativos					
Modelo	**C. Correlación (r)**	**C. Regresión (R^2)**	**Error Estándar (Error)**	**V. Probabilidad (Valor P)**	**Ecuación (Ec)**
Logaritmo de X	0,9800	94,0400%	2 187,3100	0,0000	$Y = a + b * \ln(X)$
Doble inverso	0,9675	93,6140%	3,7860E-06	0,0000	$Y = 1/(a + b/X)$
Multiplicativo	0,9532	90,8505%	0,1161	0,0000	$Y = a * X\hat{}b$
Curva S	-0,9505	90,3400%	0,1193	0,0000	$Y = \exp(a + b/X)$
Raíz cuadrada de X	0,9411	88,5700%	3 714,9200	0,0000	$Y = a + b * sqrt(X)$
Inverso de X	-0,9049	81,8900%	4 676,2900	0,0000	$Y = a + b/X$
Lineal	0,9004	81,0700%	4 780,7700	0,0000	$Y = a + b * X$
Raíz cuadrada de Y	0,8665	75,0900%	15,9907	0,0000	$Y = (a + b * X)\hat{}2$
Exponencial	0,8261	68,2400%	0,2163	0,0000	$Y = \exp(a + b * X)$
Inverso de Y	-0,7321	53,5900%	1,0206E-05	0,0000	$Y = 1/(a + b * X)$

a) Valor del intercepto de los valores estimados de los mínimos cuadrados
b) Valor de la pendiente de los valores estimados de los mínimos cuadrados
X) Valor de Visc. Cannon

De la comparación de modelos, se determinó que la correlación logaritmo de X, fue más efectiva en términos de coeficientes de correlación y regresión. Sin embargo, al considerar, el error estándar, se seleccionó el modelo doble inverso

por ser la segunda correlación con valores más altos de (r), (R^2) y con el valor más bajo de error estándar. El error estándar evidenció que la desviación estándar entre los valores experimentales y los estimados o ajustados fue pequeña con el modelo matemático doble inverso. En el Anexo XXVII se presenta la información estadística del modelo seleccionado, presentado en la Ecuación 26:

$$Visc.TXT = \frac{1}{2{,}37198E - 05 + \frac{3{,}72842E - 08}{Visc.Cannon}} \qquad [26]$$

Las constantes 2,37198E-05 y 3,72842E-08 correspondieron a los coeficientes de mínimos cuadrados del intercepto y la razón de variación o pendiente, respectivamente.

El coeficiente de regresión (R^2) es el grado de relación que existe entre dos variables e indicó que el modelo seleccionado explica un 93,614% de la variabilidad de la viscosidad por área bajo la curva respecto a la viscosidad absoluta. El coeficiente de correlación (r) o la raíz cuadrada del coeficiente de regresión, fue de 0,967543 y evidenció la relación relativamente fuerte que existe entre estas dos variables.

Viscosidad calculada por diferencia de esfuerzo instrumental versus viscosidad absoluta: La Tabla 3.18 contiene la comparación de modelos categorizados con base en los estadísticos principales, generados para demostrar la validez y efectividad de la correlación entre la viscosidad calculada (Ecuación 22) y la viscosidad absoluta. Para todos los modelos alternativos, la probabilidad menor que 0,01 mostró que la correlación entre estas dos variables fue altamente significativa ($p < 0.01$).

En este caso en primer lugar fue categorizado el modelo conocido como curva-s con valores de 0,9369; 87,7797% y 0,1632 para (r), (R^2) y error estándar, respectivamente. Sin embargo, en concordancia con la correlación de la viscosidad por área bajo la curva y la viscosidad absoluta, también podría ser

considerado el modelo doble inverso, pero en perjuicio los valores de (r), (R^2), los cuales fueron de 0,9308 y 86,6424%, respectivamente.

Tabla 3.18. Coeficiente de correlación, coeficiente de regresión, error estándar, probabilidad y modelos matemáticos de la regresión simple entre la viscosidad calculada y la viscosidad absoluta

Regresión simple – Visc. Ecuación vs. Visc. Cannon					
Comparación entre modelos alternativos					
Modelo	**C. Correlación (r)**	**C. Regresión (R^2)**	**Error Estándar (Error)**	**V. Probabilidad (Valor P)**	**Ecuación (Ec)**
Curva S	-0,9369	87,7797%	0,1632	0,0000	$Y = \exp(a + b/X)$
Doble inverso	0,9308	86,6424%	1,0708E-04	0,0000	$Y = 1/(a + b/X)$
Inverso de X	-0,8937	79,8800%	205,3510	0,0000	$Y = a + b/X$
Logaritmo de X	0,8893	79,0900%	209,3260	0,0000	$Y = \mathrm{a} + \mathrm{b} * \ln(\mathrm{X})$
Multiplicativo	0,8582	73,6500%	0,2397	0,0000	$Y = a * X\hat{}b$
Raíz cuadrada de X	0,8219	67,5600%	260,7330	0,0000	$Y = a + b * sqrt(X)$
Lineal	0,7706	59,3800%	291,7720	0,0000	$Y = a + b * X$
Raíz cuadrada de Y	0,7370	54,3100%	4,8353	0,0000	$Y = (a + b * X)\hat{}2$
Exponencial	0,6945	48,2300%	0,3360	0,0000	$Y = \exp(a + b * X)$
Inverso de Y	-0,5949	35,4000%	4,5541E-04	0,0000	$Y = 1/(a + b * X)$

a) Valor del intercepto de los valores estimados de los mínimos cuadrados
b) Valor de la pendiente de los valores estimados de los mínimos cuadrados
X) Valor de Visc. Cannon

El Anexo XXVIII contiene los resultados y gráficos de estos dos primeros modelos y las Ecuaciones 27 y 28 expresan la relación matemática existente entre la viscosidad calculada y la viscosidad absoluta.

Modelo curva-s: $Visc.Ecuación = exp\left(7{,}3558 - \frac{0{,}0011}{Visc.Cannon}\right)$ [27]

Modelo doble inverso: $Visc.Ecuación = \frac{1}{\left(0{,}0005 + \frac{0{,}000001}{Visc.Cannon}\right)}$ [26]

Mediciones instrumentales de viscosidad (área bajo la curva) versus consistencia: La Tabla 3.19, muestra los valores estadísticos principales generados para comparar la efectividad y validez de los modelos disponibles por el método de regresión simple. De forma similar a las variables ya analizadas, la

correlación es altamente significativa (p < 0,001) entre la viscosidad por área bajo la curva y la consistencia obtenida con el texturómetro TA-XT2i y el accesorio «Back Extrusion Rig».

Tabla 3.19. Valores de coeficiente de correlación, coeficiente de regresión, error estándar, el valor de P y las ecuaciones de los modelos que se ajustan a la regresión simple entre la Visc. TXT y Consistencia

Regresión simple – Visc. TXT vs. Consistencia					
Comparación entre modelos alternativos					
Modelo	**C. Correlación (r)**	**C. Regresión (R^2)**	**Error Estándar (Error)**	**V. Probabilidad (Valor P)**	**Ecuación (Ec)**
Raíz cuadrada de Y	0,9776	95,5700%	6,7395	0,0000	$Y = (a + b * X)\hat{}2$
Lineal	0,9769	95,4200%	2 350,7700	0,0000	$Y = a + b * X$
Curva S	-0,9754	95,1459%	0,0846	0,0000	$Y = \exp(a + b/X)$
Raíz cuadrada de X	0,9754	95,1400%	2 421,8900	0,0000	$Y = a + b * sqrt(X)$
Multiplicativo	0,9742	94,8970%	0,0867	0,0000	$Y = a * X\hat{}b$
Logaritmo de X	0,9736	94,7900%	2 508,7600	0,0000	$Y = \mathrm{a} + \mathrm{b} * \ln(\mathrm{X})$
Exponencial	0,9714	94,3600%	0,0911	0,0000	$Y = \exp(a + b * X)$
Inverso de X	-0,9688	93,8600%	2 722,8500	0,0000	$Y = a + b/X$
Doble inverso	0,9544	91,0800%	4,4739E-06	0,0000	$Y = 1/(a + b/X)$
Inverso de Y	-0,9385	88,0700%	5,1744E-06	0,0000	$Y = 1/(a + b * X)$

a) Valor del intercepto de los valores estimados de los mínimos cuadrados
b) Valor de la pendiente de los valores estimados de los mínimos cuadrados
X) Valor de Consistencia

Para esta correlación, los resultados mostraron que el modelo raíz cuadrada de Y fue aceptable con valores de (r), (R^2) y error estándar de 0,9776; 95,57% y 6,9375, respectivamente. Por simplicidad, el modelo categorizado en segundo lugar podría ser seleccionado, sin embargo no se considera aceptable debido al error estándar de 2 350,77. Adicionalmente, se observó que esta correlación podría ser interpretada mediante los modelos curva-s multiplicativo y exponencial, sin tanta disminución en el valor de los estadísticos de efectividad y validez como se observa en la categorización de modelos de la Tabla 3.18. En el Anexo XXIX, se presentan las tablas generadas respecto a los coeficientes intercepto y razón de variación de la Ecuación 29 presentada a continuación, la cual mostró la relación matemática de los datos experimentales de estas dos variables mediante el modelo Curva-s.

Modelo curva-s: $Visc.TXT = exp\left(13{,}9846 - \frac{0{,}8053}{Consistencia}\right)$ [29]

Viscosidad calculada por diferencia de esfuerzo instrumental versus la consistencia: La categorización de modelos comparados mediante regresión simple de los datos de la viscosidad calculada en función de la consistencia, mostró que los estadísticos (r), (R^2) fueron muy cercanos entre los dos primeros modelos de tendencia negativa, pero en el segundo modelo el valor del error estándar no es aceptable. Como se puede observar en la Tabla 3.20, en todos los casos, la probabilidad fue menor que 0,001, lo cual evidenció que la correlación fue altamente significativa entre estas dos variables a un nivel de confianza del 99,9%

Tabla 3.20. Valores de coeficiente de correlación, coeficiente de regresión, error estándar, el valor de P y las ecuaciones de los modelos que se ajustan a la regresión simple entre la Visc. Ecuación vs Consistencia

Regresión simple – Visc. Ecuación vs. Consistencia					
Comparación entre modelos alternativos					
Modelo	**C. Correlación (r)**	**C. Regresión (R^2)**	**Error Estándar (Error)**	**V. Probabilidad (Valor P)**	**Ecuación (Ec)**
Curva S	-09191	84,4789%	0,1840	0,0000	$Y = \exp(a + b/X)$
Inverso de X	-0,9138	83,5100%	185,8960	0,0000	$Y = a + b/X$
Logaritmo de X	0,9117	83,1100%	188,1150	0,0000	$Y = \mathrm{a} + \mathrm{b} * \ln(\mathrm{X})$
Multiplicativo	0,9107	82,9378%	0,1929	0,0000	$Y = a * X\hat{}b$
Raíz cuadrada de Y	0,9104	82,8800%	2,9602	0,0000	$Y = (a + b * X)\hat{}2$
Raíz cuadrada de X	0,9100	82,8200%	189,7520	0,0000	$Y = a + b * sqrt(X)$
Lineal	0,9081	82,4600%	191,7160	0,0000	$Y = a + b * X$
Exponencial	0,9010	81,1800%	0,2026	0,0000	$Y = \exp(a + b * X)$
Doble inverso	0,8806	77,5400%	2,6848E-04	0,0000	$Y = 1/(a + b/X)$
Inverso de Y	-0,8517	72,5400%	2,9690E-04	0,0000	$Y = 1/(a + b * X)$

a) Valor del intercepto de los valores estimados de los mínimos cuadrados
b) Valor de la pendiente de los valores estimados de los mínimos cuadrados
X) Valor de Consistencia

El modelo seleccionado fue el curva–s con valores de (r), (R^2) y error estándar de -0,9191; 84,4789%; 0,1840, respectivamente. El otro modelo alternativo podría ser el multiplicativo, pero en perjuicio del valor (R^2), el cual descendió a 82,9378%. En el Anexo XXX se reporta la información estadística del modelo

curva-s seleccionado y en la Ecuación 30 se tiene la relación matemática que explica la correlación entre la viscosidad calculada y la consistencia.

Modelo curva-s: $Visc.Ecuación = exp\left(11{,}2081 - \frac{0{,}9230}{Consistencia}\right)$ [30]

3.4.2.2 Correlaciones de resultados agrupados por tipo de muestra

En este caso se utilizó la misma metodología aplicada en el punto anterior, con la diferencia que los valores tomados de la tabla 3.15, están agrupados por el tipo de muestra (miel de panela, jarabe de azúcar morena y jarabe de azúcar blanca). Cada muestra fue analizada mediante regresión simple entre las variables dependientes versus las variables independientes anteriormente descritas. De esta manera se analizó la sensibilidad del nuevo ensayo, separadamente, por tipo de muestra con sus diferentes niveles de concentración.

Mediciones instrumentales de viscosidad (área bajo la curva) versus viscosidad absoluta en miel de panela: En la Tabla 3.21 se presenta la comparación de modelos generada mediante regresión simple de los datos de viscosidad por área bajo la curva versus la viscosidad absoluta de miel de panela a las diferentes concentraciones. En general se encontró que la correlación entre las dos variables fue altamente significativa ($p < 0.001$), puesto que, todos los modelos generaron valores de probabilidad (p-value) muy bajos y correspondientes a niveles de confianza mayores que el 99,9%.

De la comparación de modelos, se determinó que la correlación logaritmo de X, fue más efectiva en términos de coeficientes de correlación y regresión. Sin embargo, al considerar, el error estándar, se seleccionó el modelo doble inverso, debido a que fue la segunda correlación con valores más altos de (r), (R^2) y con el valor más bajo de error estándar.

En el Anexo XXXI se observa la información estadística del modelo seleccionado, representado por la Ecuación 31.

Tabla 3.21. Coeficiente de correlación, coeficiente de regresión, error estándar, probabilidad y modelos matemáticos de la regresión simple entre la viscosidad por área bajo la curva y la viscosidad absoluta

Regresión simple – Visc. TXT vs. Visc. Cannon					
Comparación entre modelos alternativos					
Modelo	**C. Correlación (r)**	**C. Regresión (R^2)**	**Error Estándar (Error)**	**V. Probabilidad (Valor P)**	**Ecuación (Ec)**
Logaritmo de X	0,9832	96,6800%	2 306,7200	0,0000	$Y = \mathrm{a} + \mathrm{b} * \ln(\mathrm{X})$
Doble inverso	0,9808	96,2000%	3,1892E-06	0,0000	$Y = 1/(a + b/X)$
Curva S	-0,9715	94,3800%	0,1015	0,0000	$Y = \exp(a + b/X)$
Multiplicativo	0,9432	88,9500%	0,1422	0,0000	$Y = a * X\hat{}b$
Raíz cuadrada de X	0,9334	87,1300%	4 538,4100	0,0000	$Y = a + b * sqrt(X)$
Inverso de X	-0,9291	86,3200%	4 678,2700	0,0000	$Y = a + b/X$
Lineal	0,8884	78,9200%	5 807,9900	0,0000	$Y = a + b * X$
Raíz cuadrada de Y	0,8483	71,9600%	19,1865	0,0000	$Y = (a + b * X)\hat{}2$
Exponencial	0,8010	64,1600%	2,5615E-01	0,0000	$Y = \exp(a + b * X)$
Inverso de Y	-0,6947	48,2600%	1,1774E-05	0,0000	$Y = 1/(a + b * X)$

Valor del intercepto de los valores estimados de los mínimos cuadrados
b) Valor de la pendiente de los valores estimados de los mínimos cuadrados
X) Valor de Visc. Cannon

$$Visc.TXT = \frac{1}{2{,}1284E - 05 + \frac{3{,}8727E - 08}{Visc.Cannon}} \qquad [31]$$

Las constantes 2,1284E-05 y 3,8727E-08 correspondieron a los coeficientes de mínimos cuadrados del intercepto y la razón de variación o pendiente, respectivamente

El coeficiente de regresión (R^2) indicó que el modelo seleccionado explica un 94,38% de la variabilidad de la viscosidad por área bajo la curva respecto a la viscosidad absoluta. El coeficiente de correlación (r) fue de 0,9715 y mostró la relación relativamente fuerte que existe entre estas dos variables.

Viscosidad calculada por diferencia de esfuerzo instrumental versus viscosidad absoluta en miel de panela: La Tabla 3.22 contiene la comparación de modelos categorizados con base en los estadísticos principales, generados para demostrar la validez y efectividad la correlación entre la viscosidad calculada

(Ecuación 22) y la viscosidad absoluta. Para todos los modelos alternativos, la probabilidad menor que 0,001 mostró que la correlación entre estas dos variables fue altamente significativa ($p < 0.001$).

Tabla 3.22. Coeficiente de correlación, coeficiente de regresión, error estándar, probabilidad y modelos matemáticos de la regresión simple entre la viscosidad calculada y la viscosidad absoluta

Regresión simple – Visc. Ecuación vs. Visc. Cannon					
Comparación entre modelos alternativos					
Modelo	**C. Correlación (r)**	**C. Regresión (R^2)**	**Error Estándar (Error)**	**V. Probabilidad (Valor P)**	**Ecuación (Ec)**
Curva S	-0,9548	91,1700%	0,1659	0,0000	$Y = \exp(a + b/X)$
Doble inverso	0,9329	87,0300%	2,4920E-04	0,0000	$Y = 1/(a + b/X)$
Inverso de X	-0,9226	85,1200%	213,3670	0,0000	$Y = a + b/X$
Logaritmo de X	0,9064	82,1500%	233,5890	0,0000	$Y = \mathrm{a} + \mathrm{b} * \ln(\mathrm{X})$
Multiplicativo	0,8513	72,4600%	0,2929	0,0000	$Y = a * X\hat{}b$
Raíz cuadrada de X	0,8284	68,6200%	309,6820	0,0000	$Y = a + b * sqrt(X)$
Lineal	0,7705	59,3700%	352,4110	0,0000	$Y = a + b * X$
Raíz cuadrada de Y	0,7244	52,4800%	5,9003	0,0000	$Y = (a + b * X)\hat{}2$
Exponencial	0,6701	44,9000%	0,4143	0,0000	$Y = \exp(a + b * X)$
Inverso de Y	-0,5555	30,8600%	5,7000E-04	0,0000	$Y = 1/(a + b * X)$

a) Valor del intercepto de los valores estimados de los mínimos cuadrados
b) Valor de la pendiente de los valores estimados de los mínimos cuadrados
X) Valor de Visc. Cannon

En este caso en primer lugar fue categorizado el modelo conocido como curva-s con valores de 0,9548; 91,1700% y 0,1659 para (r), (R^2) y error estándar, respectivamente. En este caso se seleccionó este modelo ya que a pesar de no tener el menor valor de error estándar, es el que mejor explica el grado de confiabilidad respecto a los otros modelos. El Anexo XXXII contiene los resultados de este modelo y la Ecuación 32 expresa la relación matemática entre la viscosidad calculada y la viscosidad absoluta.

Modelo curva-s: $Visc.Ecuación = exp\left(7{,}4683 - \frac{1{,}2857E-03}{Visc.Cannon}\right)$ [32]

Mediciones instrumentales de viscosidad (área bajo la curva) versus consistencia en miel de panela: La Tabla 3.23, muestra los principales valores

estadísticos generados para comparar la efectividad y validez de los modelos disponibles por el método de regresión simple. De forma similar a las variables ya analizadas, la correlación es altamente significativa (p < 0,001) entre la viscosidad por área bajo la curva y la consistencia obtenida con el accesorio «Back Extrusion Rig» en el texturómetro TA-XT2i.

Tabla 3.23. Valores de coeficiente de correlación, coeficiente de regresión, error estándar, el valor de P y las ecuaciones de los modelos que se ajustan a la regresión simple entre la Visc. TXT y Consistencia

Regresión simple – Visc. TXT vs. Consistencia					
Comparación entre modelos alternativos					
Modelo	**C. Correlación (r)**	**C. Regresión (R^2)**	**Error Estándar (Error)**	**V. Probabilidad (Valor P)**	**Ecuación (Ec)**
Raíz cuadrada de X	0,9904	98,1000%	1 744,9700	0,0000	$Y = a + b * sqrt(X)$
Logaritmo de X	0,9903	98,0700%	1 759,1000	0,0000	$Y = \mathrm{a} + \mathrm{b} * \ln(\mathrm{X})$
Lineal	0,9903	98,0600%	1 761,1100	0,0000	$Y = a + b * X$
Inverso de X	-0,9890	97,8000%	1 874,7400	0,0000	$Y = a + b/X$
Raíz cuadrada de Y	0,9838	96,7800%	6,5026	0,0000	$Y = (a + b * X)\hat{}2$
Curva S	-0,9807	96,1800%	0,0836	0,0000	$Y = \exp(a + b/X)$
Multiplicativo	0,9755	95,1600%	0,0941	0,0000	$Y = a * X\hat{}b$
Exponencial	0,9691	93,9100%	0,1056	0,0000	$Y = \exp(a + b * X)$
Doble inverso	0,9417	88,6800%	5,5080E-06	0,0000	$Y = 1/(a + b/X)$
Inverso de Y	-0,9180	84,2800%	6,4900E-06	0,0000	$Y = 1/(a + b * X)$

a) Valor del intercepto de los valores estimados de los mínimos cuadrados
b) Valor de la pendiente de los valores estimados de los mínimos cuadrados
X) Valor de Consistencia

Para esta correlación, los resultados mostraron que el modelo raíz cuadrada de X fue aceptable con valores de (r) y (R^2) de 0,9904 y 98,1000%, respectivamente, pero no debido al error estándar de 1 744,9700. También, se observó que esta correlación podría ser interpretada mediante los modelos curva-s multiplicativo y exponencial, con disminución mínima en el valor de los estadísticos de efectividad y validez, como se observa en la categorización de modelos de la Tabla 3.22.

En el Anexo XXXIII, se presentan las tablas generadas respecto los coeficientes intercepto y razón de variación de la Ecuación 33, la cual mostró la relación de los datos experimentales de estas variables mediante el modelo Curva-s.

Modelo curva-s: $Visc.TXT = exp\left(14{,}2128 - \frac{0{,}8425}{Consistencia}\right)$ [33]

Viscosidad calculada por diferencia de esfuerzo instrumental versus la consistencia en miel de panela: La categorización de modelos comparados mediante regresión simple de los datos de la viscosidad calculada en función de la consistencia, mostró que (r), (R^2) fueron muy cercanos entre los dos primeros modelos, pero en estos modelos el valor del error estándar no es aceptable. Como se puede observar en la Tabla 3.24, en todos los caso la probabilidad fue menor que 0,001, lo cual evidenció que la correlación fue altamente significativa entre estas dos variables a un nivel de confianza del 99,9%.

El modelo seleccionado fue el curva–s con valores de (r), (R^2) y error estándar de -0,9190; 84,4600%; 0,2200, respectivamente. El modelo alternativo podría ser el multiplicativo, pero en perjuicio del valor R^2. En el Anexo XXXIIII se reporta la información del modelo curva-s seleccionado y en la Ecuación 34 se tiene la relación que explica la correlación entre la viscosidad calcula y la consistencia.

Tabla 3.24. Valores de coeficiente de correlación, coeficiente de regresión, error estándar, el valor de P y las ecuaciones de los modelos que se ajustan a la regresión simple entre la Visc. Ecuación vs Consistencia

Regresión simple – Visc. Ecuación vs. Consistencia					
Comparación entre modelos alternativos					
Modelo	**C. Correlación (r)**	**C. Regresión (R^2)**	**Error Estándar (Error)**	**V. Probabilidad (Valor P)**	**Ecuación (Ec)**
Inverso de X	-0,9369	87,7800%	193,2490	0,0000	$Y = a + b/X$
Logaritmo de X	0,9315	86,7700%	201,1180	0,0000	$Y = \mathrm{a} + \mathrm{b} * \ln(\mathrm{X})$
Raíz cuadrada de X	0,9283	86,1700%	205,6210	0,0000	$Y = a + b * sqrt(X)$
Lineal	0,9247	85,5100%	210,4460	0,0000	$Y = a + b * X$
Curva S	-0,9190	84,4600%	0,2200	0,0000	$Y = \exp(a + b/X)$
Raíz cuadrada de Y	0,9156	83,8400%	3,4409	0,0000	$Y = (a + b * X)$ˆ2
Multiplicativo	0,9069	82,2500%	0,2352	0,0000	$Y = a * X$ˆb
Exponencial	0,8937	79,8700%	0,2504	0,0000	$Y = \exp(a + b * X)$
Doble inverso	0,8577	73,5600%	3,5580E-04	0,0000	$Y = 1/(a + b/X)$
Inverso de Y	-0,8223	67,6100%	3,9000E-04	0,0000	$Y = 1/(a + b * X)$

a) Valor del intercepto de los valores estimados de los mínimos cuadrados
b) Valor de la pendiente de los valores estimados de los mínimos cuadrados
X) Valor de Consistencia

Modelo curva-s: $Visc.Ecuación = exp\left(11{,}7529 - \frac{1{,}0311}{Consistencia}\right)$ [34]

Mediciones instrumentales de viscosidad (área bajo la curva) versus viscosidad absoluta en jarabe de azúcar morena: En la Tabla 3.25 se presenta la comparación de modelos generada mediante regresión simple de los datos totales de viscosidad por área bajo la curva versus la viscosidad absoluta. En general se encontró que la correlación entre las dos variables fue altamente significativa ($p < 0{,}001$), puesto que, todos los modelos generaron valores de probabilidad (p-value) muy bajos y correspondientes a niveles de confianza mayores que el 99,9%.

Tabla 3.25. Coeficiente de correlación, coeficiente de regresión, error estándar, probabilidad y modelos matemáticos de la regresión simple entre la viscosidad por área bajo la curva y la viscosidad absoluta

Regresión simple – Visc. TXT vs. Visc. Cannon					
Comparación entre modelos alternativos					
Modelo	**C. Correlación (r)**	**C. Regresión (R^2)**	**Error Estándar (Error)**	**V. Probabilidad (Valor P)**	**Ecuación (Ec)**
Doble inverso	0,9901	98,0200%	0,0000	0,0000	$Y = 1/(a + b/X)$
Logaritmo de X	0,9885	97,7200%	1,7820E+03	0,0000	$Y = \mathrm{a} + \mathrm{b} * \ln(\mathrm{X})$
Curva S	-0,9777	95,5900%	0,0897	0,0000	$Y = \exp(a + b/X)$
Multiplicativo	0,9515	90,5300%	0,1314	0,0000	$Y = a * X\hat{}b$
Raíz cuadrada de X	0,9386	88,1000%	4 069,5200	0,0000	$Y = a + b * sqrt(X)$
Inverso de X	-0,9348	87,3900%	4 187,8900	0,0000	$Y = a + b/X$
Lineal	0,8923	79,6200%	5 324,4800	0,0001	$Y = a + b * X$
Raíz cuadrada de Y	0,8535	72,8400%	18,2303	0,0004	$Y = (a + b * X)\hat{}2$
Exponencial	0,8080	65,2900%	2,5170E-01	0,0150	$Y = \exp(a + b * X)$
Inverso de Y	-0,7064	49,9000%	1,2320E-05	0,0102	$Y = 1/(a + b * X)$

a) Valor del intercepto de los valores estimados de los mínimos cuadrados
b) Valor de la pendiente de los valores estimados de los mínimos cuadrados
X) Valor de Visc. Cannon

De la comparación de modelos, se determinó que la correlación doble inverso, fue más efectiva en términos de coeficientes de correlación, regresión y error estándar. El error estándar evidenció que la desviación estándar entre los valores experimentales y los estimados o ajustados fue muy pequeña con el modelo matemático doble inverso.

En el Anexo XXXV se presenta la información estadística del modelo seleccionado, presentado en la Ecuación 35.

$$Visc.TXT = \frac{1}{2{,}2771E - 05 + \frac{4{,}1656E - 08}{Visc.Cannon}} \quad [35]$$

Las constantes 2,2771E-05 y 4,1656E-08 corresponden a los coeficientes de mínimos cuadrados del intercepto y la razón de variación o pendiente, respectivamente. El coeficiente de regresión (R^2) indicó que el modelo seleccionado explica un 98,0200% de la variabilidad de la viscosidad por área bajo la curva. El coeficiente de correlación (r) fue de 0,9901 y evidenció la fuerte relación que existe entre estas dos variables.

Viscosidad calculada por diferencia de esfuerzo instrumental versus viscosidad absoluta en jarabe de azúcar morena: La Tabla 3.26 contiene la comparación de modelos categorizados con base en los estadísticos principales, generados para demostrar la validez y efectividad de la correlación entre la viscosidad calculada con la Ecuación 22 y la viscosidad absoluta. En este caso no todos los modelos alternativos, mostraron la probabilidad menor que 0,01como se puede observar en la tabla antes mencionada.

Tabla 3.26. Coeficiente de correlación, coeficiente de regresión, error estándar, probabilidad y modelos matemáticos de la regresión simple entre la viscosidad calculada y la viscosidad absoluta

Regresión simple – Visc. Ecuación vs. Visc. Cannon					
Comparación entre modelos alternativos					
Modelo	**C. Correlación (r)**	**C. Regresión (R^2)**	**Error Estándar (Error)**	**V. Probabilidad (Valor P)**	**Ecuación (Ec)**
Curva S	-0,9630	92,7300%	0,1394	0,0000	$Y = \exp(a + b/X)$
Doble inverso	0,9513	90,5000%	1,9410E-04	0,0001	$Y = 1/(a + b/X)$
Inverso de X	-0,9344	87,3100%	178,6090	0,0000	$Y = a + b/X$
Logaritmo de X	0,8855	78,4000%	233,0260	0,0001	$Y = \mathrm{a} + \mathrm{b} * \ln(\mathrm{X})$
Multiplicativo	0,8429	71,0500%	0,2783	0,0006	$Y = a * X\hat{}b$
Raíz cuadrada de X	0,7951	63,2200%	304,1120	0,0020	$Y = a + b * sqrt(X)$
Lineal	0,7308	53,4100%	342,2710	0,0069	$Y = a + b * X$

Tabla 3.26. Coeficiente de correlación, coeficiente de regresión, error estándar, probabilidad y modelos matemáticos de la regresión simple entre la viscosidad calculada y la viscosidad absoluta (Continuación…)

Modelo	C. Correlación (r)	C. Regresión (R^2)	Error Estándar (Error)	V. Probabilidad (Valor P)	Ecuación (Ec)
Raíz cuadrada de Y	0,6959	48,4300%	5,6622	0,0120	$Y = (a + b * X)$^2
Exponencial	0,6539	42,7500%	0,3914	0,0211	$Y = \exp(a + b * X)$
Inverso de Y	-0,5625	31,6400%	5,2090E-04	0,0569	$Y = 1/(a + b * X)$

a) Valor del intercepto de los valores estimados de los mínimos cuadrados
b) Valor de la pendiente de los valores estimados de los mínimos cuadrados
X) Valor de Visc. Cannon

En este caso se seleccionó el modelo conocido como curva-s con valores de -0,9630; 92,7300% y 0,1394 para (r), (R^2) y error estándar, respectivamente. El error estándar no fue el más bajo, pero fue aceptable al considerar el resto de parámetros estadísticos del modelo seleccionado.

El Anexo XXXVI contiene los resultados de este modelo y la Ecuación 36 expresa la relación matemática entre la viscosidad calculada y la viscosidad absoluta.

Modelo curva-s: $Visc.Ecuación = exp\left(7{,}4243 - \frac{1{,}2033E-03}{Visc.Cannon}\right)$ [36]

Mediciones instrumentales de viscosidad (área bajo la curva) versus consistencia en jarabe de azúcar morena: La Tabla 3.27, muestra los valores estadísticos principales generados para comparar la efectividad y validez de los modelos disponibles por el método de regresión simple. De forma similar a las variables ya analizadas, la correlación es altamente significativa ($p < 0{,}001$) entre la viscosidad por área bajo la curva y la consistencia obtenida con el accesorio «Back Extrusion Rig» en el texturómetro TA-XT2i.

Para esta correlación, los valores de (r) y (R^2) de 0,9951 y 99,0200% óptimos; sin embargo el error estándar fue muy alto (11 760,48). Como siguientes opciones se observó que esta correlación podría ser interpretada mediante los modelos curva-s multiplicativo y exponencial, sin tanta disminución en el valor de los estadísticos de efectividad y validez. En el Anexo XXXVII, se observa las tablas generadas

respecto a los coeficientes intercepto y razón de variación de la Ecuación 37, la cual mostró la relación matemática de los datos experimentales de estas dos variables mediante el modelo curva-s.

Tabla 3.27. Valores de coeficiente de correlación, coeficiente de regresión, error estándar, el valor de P y las ecuaciones de los modelos que se ajustan a la regresión simple entre la Visc. TXT y Consistencia

Regresión simple – Visc. TXT vs. Consistencia					
Comparación entre modelos alternativos					
Modelo	**C. Correlación (r)**	**C. Regresión (R^2)**	**Error Estándar (Error)**	**V. Probabilidad (Valor P)**	**Ecuación (Ec)**
Lineal	0,9951	99,0200%	11 760,4900	0,0000	$Y = a + b * X$
Raíz cuadrada de Y	0,9945	98,9000%	3,6672	0,0000	$Y = (a + b * X)$^2
Raíz cuadrada de X	0,9941	98,8300%	1 277,5300	0,0000	$Y = a + b * sqrt(X)$
Curva S	-0,9935	98,7100%	0,0485	0,0000	$Y = \exp(a + b/X)$
Logaritmo de X	0,9928	98,5600%	1 413,7700	0,0000	$Y = \mathrm{a} + \mathrm{b} * \ln(\mathrm{X})$
Multiplicativo	0,9907	98,1400%	0,0582	0,0000	$Y = a * X$^b
Inverso de X	-0,9890	97,8100%	1 744,5900	0,0000	$Y = a + b/X$
Exponencial	0,9863	97,2900%	0,0704	0,0000	$Y = \exp(a + b * X)$
Doble inverso	0,9690	93,9000%	4,3010E-06	0,0000	$Y = 1/(a + b/X)$
Inverso de Y	-0,9492	90,1000%	5,4810E-06	0,0000	$Y = 1/(a + b * X)$

a) Valor del intercepto de los valores estimados de los mínimos cuadrados
b) Valor de la pendiente de los valores estimados de los mínimos cuadrados
X) Valor de Consistencia

Modelo curva-s: $Visc.TXT = exp\left(14{,}1689 - \frac{0{,}8453}{Consistencia}\right)$ [37]

Viscosidad calculada por diferencia de esfuerzo instrumental versus la consistencia en jarabe de azúcar morena: La categorización de modelos comparados mediante regresión simple de los datos de la viscosidad calculada en función de la consistencia, mostró que los datos estadísticos (r) y (R^2) fueron muy cercanos entre los dos primeros modelos, pero en estos modelos el valor del error estándar no es aceptable.

Como se puede observar en la Tabla 3.28, en todos los caso la probabilidad fue menor que 0,001, lo cual evidenció que la correlación fue altamente significativa entre estas dos variables a un nivel de confianza del 99,9%. El modelo

seleccionado fue curva–s con valores de (r), (R^2) y error estándar de 0,9376; 87,9000%; 0,1799, respectivamente. Por un valor más bajo de error estándar podría ser considerado el doble inverso, pero en perjuicio del valor (R^2), el cual descendió a 80,4200%. En el Anexo XXXVIII se reporta la información estadística del modelo curva-s seleccionado y en la Ecuación 38 se tiene la relación matemática que explica la correlación entre la viscosidad calcula y la consistencia.

Tabla 3.28. Valores de coeficiente de correlación, coeficiente de regresión, error estándar, el valor de P y las ecuaciones de los modelos que se ajustan a la regresión simple entre la Visc. Ecuación vs Consistencia

Regresión simple – Visc. Ecuación vs. Consistencia					
Comparación entre modelos alternativos					
Modelo	**C. Correlación (r)**	**C. Regresión (R^2)**	**Error Estándar (Error)**	**V. Probabilidad (Valor P)**	**Ecuación (Ec)**
Inverso de X	-0,9443	89,1700%	164,9790	0,0000	$Y = a + b/X$
Logaritmo de X	0,9401	88,3700%	170,9910	0,0000	$Y = \mathrm{a} + \mathrm{b} * \ln(\mathrm{X})$
Curva S	-0,9376	87,9000%	0,1799	0,0000	$Y = \exp(a + b/X)$
Raíz cuadrada de X	0,9374	87,8700%	174,6390	0,0000	$Y = a + b * sqrt(X)$
Lineal	0,9344	87,3100%	178,6550	0,0000	$Y = a + b * X$
Raíz cuadrada de Y	0,9297	86,4300%	2,9039	0,0000	$Y = (a + b * X)$ˆ2
Multiplicativo	0,9269	85,9200%	0,1941	0,0000	$Y = a * X$ˆb
Exponencial	0,9150	83,7200%	0,2087	0,0000	$Y = \exp(a + b * X)$
Doble inverso	0,8968	80,4200%	2,7870E-04	0,0001	$Y = 1/(a + b/X)$
Inverso de Y	-0,8637	74,6000%	3,1750E-04	0,0003	$Y = 1/(a + b * X)$

a) Valor del intercepto de los valores estimados de los mínimos cuadrados
b) Valor de la pendiente de los valores estimados de los mínimos cuadrados
X) Valor de Consistencia

Modelo curva-s: $Visc.Ecuación = exp\left(11{,}4576 - \frac{0{,}9657}{Consistencia}\right)$ [38]

Mediciones instrumentales de viscosidad (área bajo la curva) versus viscosidad absoluta en jarabe de azúcar blanca: En la Tabla 3.29 se presenta la comparación de modelos generada mediante regresión simple de los datos totales de viscosidad por área bajo la curva versus la viscosidad absoluta para jarabe de azúcar blanca. En general se encontró que la correlación entre las dos variables fue altamente significativa ($p < 0{,}001$), puesto que, todos los modelos

presentaron valores de probabilidad (p-value) muy bajos y correspondientes a niveles de confianza mayores que el 99,9%.

De la comparación de modelos, se determinó que la correlación multiplicativa, fue más efectiva en términos de coeficientes de correlación, regresión y error estándar. El error estándar evidenció que la desviación estándar entre los valores experimentales y los estimados o ajustados fue muy pequeña con el modelo matemático multiplicativo.

Tabla 3.29. Coeficiente de correlación, coeficiente de regresión, error estándar, probabilidad y modelos matemáticos de la regresión simple entre la viscosidad por área bajo la curva y la viscosidad absoluta

Regresión simple – Visc. TXT vs. Visc. Cannon					
Comparación entre modelos alternativos					
Modelo	**C. Correlación (r)**	**C. Regresión (R^2)**	**Error Estándar (Error)**	**V. Probabilidad (Valor P)**	**Ecuación (Ec)**
Logaritmo de X	0,9974	99,400%	735,3030	0,0000	$Y = \mathrm{a} + \mathrm{b} * \ln(\mathrm{X})$
Multiplicativo	0,9896	97,9300%	5,1580E-02	0,0000	$Y = a * X\hat{}b$
Raíz cuadrada de X	0,9750	95,0700%	2 264,7400	0,0000	$Y = a + b * sqrt(X)$
Doble inverso	0,9536	90,9300%	4,0960E-06	0,0000	$Y = 1/(a + b/X)$
Lineal	0,9398	88,3200%	3 484,8600	0,0000	$Y = a + b * X$
Curva S	-0,9225	85,1000%	0,1386	0,0000	$Y = \exp(a + b/X)$
Raíz cuadrada de Y	0,9184	84,3500%	11,8603	0,0000	$Y = (a + b * X)\hat{}2$
Exponencial	0,8930	79,7400%	0,1615	0,0001	$Y = \exp(a + b * X)$
Inverso de X	-0,8780	77,0900%	4,8807E+03	0,0002	$Y = a + b/X$
Inverso de Y	-0,8316	69,1600%	7,5530E-06	0,0008	$Y = 1/(a + b * X)$

a) Valor del intercepto de los valores estimados de los mínimos cuadrados
b) Valor de la pendiente de los valores estimados de los mínimos cuadrados
X) Valor de Visc. Cannon

En el Anexo XXXIX se expone la información estadística del modelo seleccionado, presentado en la Ecuación 39.

$$Visc.TXT = 83\,087{,}5 * Visc.Cannon^{0{,}218683} \qquad [39]$$

La constante 0,218683 corresponde a la razón de variación o pendiente, del intercepto. El coeficiente de regresión (R^2) indicó que el modelo seleccionado

explica un 97,9300% de la variabilidad de la viscosidad por área bajo la curva. El coeficiente de correlación (r) fue de 0,9896 y evidenció la fuerte relación que existe entre estas dos variables.

Viscosidad calculada por diferencia de esfuerzo instrumental versus viscosidad absoluta en jarabe de azúcar blanca: La Tabla 3.30 contiene la comparación de modelos categorizados con base a los estadísticos principales, generados para demostrar la validez y efectividad la correlación entre la viscosidad calculada con la Ecuación 22 y la viscosidad absoluta en jarabe de azúcar blanca.

Tabla 3.30. Coeficiente de correlación, coeficiente de regresión, error estándar, probabilidad y modelos matemáticos de la regresión simple entre la viscosidad calculada y la viscosidad absoluta

Regresión simple – Visc. Ecuación vs. Visc. Cannon					
Comparación entre modelos alternativos					
Modelo	**C. Correlación (r)**	**C. Regresión (R^2)**	**Error Estándar (Error)**	**V. Probabilidad (Valor P)**	**Ecuación (Ec)**
Logaritmo de X	0,9651	93,1400%	94,0658	0,0000	$Y = \mathrm{a} + \mathrm{b} * \ln(\mathrm{X})$
Doble inverso	0,9535	90,9200%	1,3850E-05	0,0000	$Y = 1/(a + b/X)$
Curva S	-0,9439	89,1000%	0,1276	0,0000	$Y = \exp(a + b/X)$
Multiplicativo	0,9382	88,0300%	0,1337	0,0000	$Y = a * X\hat{}b$
Raíz cuadrada de X	0,9190	84,4500%	141,6000	0,0000	$Y = a + b * sqrt(X)$
Inverso de X	-0,9083	82,5000%	150,1950	0,0000	$Y = a + b/X$
Lineal	0,8731	76,2300%	175,0770	0,0002	$Y = a + b * X$
Raíz cuadrada de Y	0,8433	71,1200%	3,1280	0,0006	$Y = (a + b * X)\hat{}2$
Exponencial	0,8078	65,2500%	0,2278	0,0015	$Y = \exp(a + b * X)$
Inverso de Y	-0,7230	52,2700%	3,1770E-04	0,0079	$Y = 1/(a + b * X)$

a) Valor del intercepto de los valores estimados de los mínimos cuadrados
b) Valor de la pendiente de los valores estimados de los mínimos cuadrados
X) Valor de Visc. Cannon

En este caso en primer lugar fue categorizado el modelo conocido como logaritmo de X con valores de 0,9651; 93,1400% y 94,0658 para (r), (R^2) y error estándar, respectivamente. Sin embargo, este modelo no se seleccionó, ya que a pesar que, es el que mejor explica el grado de confiabilidad respecto a los otros modelos, su error estándar es muy alto. Por tal circunstancia, se escogió el

modelo matemático siguiente, doble inverso debido a que explica mejor la correlación entre estas dos variables con un error estándar, notoriamente, más bajo. El Anexo XL contiene los resultados de este modelo y la Ecuación 40 expresa la relación matemática entre la viscosidad calculada y la viscosidad absoluta.

$$Visc.Ecuación = \frac{1}{7{,}3759E - 04 + \frac{1{,}0623E - 06}{Visc.Cannon}} \quad [40]$$

Mediciones instrumentales de viscosidad (área bajo la curva) versus consistencia en jarabe de azúcar blanca: La Tabla 3.31, muestra los valores estadísticos principales generados para comparar la efectividad y validez de los modelos disponibles por el método de regresión simple. De forma similar a las variables ya analizadas, la correlación es altamente significativa (p < 0,001) entre la viscosidad por área bajo la curva y la consistencia obtenida en el texturómetro TA-XT2i con el accesorio «Back Extrusion Rig».

Tabla 3.31. Valores de coeficiente de correlación, coeficiente de regresión, error estándar, el valor de P y las ecuaciones de los modelos que se ajustan a la regresión simple entre la Visc. TXT y Consistencia

Regresión simple – Visc. TXT vs. Consistencia					
Comparación entre modelos alternativos					
Modelo	**C. Correlación (r)**	**C. Regresión (R^2)**	**Error Estándar (Error)**	**V. Probabilidad (Valor P)**	**Ecuación (Ec)**
Exponencial	0,9840	96,8300%	0,0638	0,0000	$Y = \exp(a + b * X)$
Raíz cuadrada de Y	0,9823	96,5000%	5,6099	0,0000	$Y = (a + b * X)$^2
Multiplicativo	0,9807	96,1800%	0,0701	0,0000	$Y = a * X$^b
Lineal	0,9772	95,4900%	2 164,4100	0,0000	$Y = a + b * X$
Doble inverso	0,9765	95,3600%	0,0000	0,0000	$Y = 1/(a + b/X)$
Inverso de Y	-0,9757	95,1900%	0,0000	0,0000	$Y = 1/(a + b * X)$
Curva S	-0,9756	95,1800%	0,0788	0,0000	$Y = \exp(a + b/X)$
Raíz cuadrada de X	0,9736	94,7800%	2 329,1600	0,0000	$Y = a + b * sqrt(X)$
Logaritmo de X	0,9695	93,9900%	2 500,2400	0,0000	$Y = \mathrm{a} + \mathrm{b} * \ln(\mathrm{X})$
Inverso de X	-0,9600	92,1600%	2 855,1400	0,0000	$Y = a + b/X$

a) Valor del intercepto de los valores estimados de los mínimos cuadrados
b) Valor de la pendiente de los valores estimados de los mínimos cuadrados
X) Valor de Consistencia

Para esta correlación, los resultados mostraron que el modelo exponencial fue aceptable con valores de (r), (R^2) y error estándar de 0,9840, 96,8300%, 0,0638 respectivamente. Además, se observó que esta correlación podría ser interpretada mediante el modelo multiplicativo, sin tanta disminución en el valor de los estadísticos de efectividad y validez. En el Anexo XLI, se observan las tablas generadas respecto a los coeficientes intercepto y razón de variación de la Ecuación 41 presentada a continuación, la cual mostró la relación matemática de los datos experimentales de estas dos variables mediante el modelo exponencial.

Modelo Exponencial: $Visc.TXT = \exp(6{,}7984 + 15{,}6167 * Consistencia)$ [41]

Viscosidad calculada por diferencia de esfuerzo instrumental versus la consistencia en jarabe de azúcar blanca: La categorización de modelos comparados mediante regresión simple de los datos de la viscosidad calculada en función de la consistencia, mostró que los estadísticos (r) y (R^2) fueron muy cercanos entre los tres primeros modelos, pero en estos modelos el valor del error estándar no es aceptable.

Como se puede observar en la Tabla 3.32, en todos los casos la probabilidad fue menor que 0,001, lo cual evidenció que la correlación fue altamente significativa entre estas variables a un nivel de confianza del 99,9%.

Tabla 3.32. Valores de coeficiente de correlación, coeficiente de regresión, error estándar, el valor de P y las ecuaciones de los modelos que se ajustan a la regresión simple entre la Visc. Ecuación vs Consistencia

Regresión simple – Visc. Ecuación vs. Consistencia					
Comparación entre modelos alternativos					
Modelo	**C. Correlación (r)**	**C. Regresión (R^2)**	**Error Estándar (Error)**	**V. Probabilidad (Valor P)**	**Ecuación (Ec)**
Lineal	0,9657	93,2600%	93,2519	0,0000	$Y = a + b * X$
Raíz cuadrada de Y	0,9655	93,2200%	1,5153	0,0000	$Y = (a + b * X)$ˆ2
Raíz cuadrada de X	0,9648	93,0900%	94,3959	0,0000	$Y = a + b * sqrt(X)$
Curva S	-0,9643	93,0000%	0,1023	0,0000	$Y = \exp(a + b/X)$
Logaritmo de X	0,9636	92,8400%	96,0492	0,0000	$Y = \mathrm{a} + \mathrm{b} * \ln(\mathrm{X})$
Multiplicativo	0,9626	92,6700%	0,1046	0,0000	$Y = a * X$ˆb

Tabla 3.32. Valores de coeficiente de correlación, coeficiente de regresión, error estándar, el valor de P y las ecuaciones de los modelos que se ajustan a la regresión simple entre la Visc. Ecuación vs Consistencia (Continuación…)

Modelo	C. Correlación (r)	C. Regresión (R^2)	Error Estándar (Error)	V. Probabilidad (Valor P)	Ecuación (Ec)
Inverso de X	-0,9598	92,1200%	100,7750	0,0000	$Y = a + b/X$
Exponencial	0,9594	92,0400%	0,1090	0,0000	$Y = \exp(a + b * X)$
Doble inverso	0,9435	89,0100%	1,5240E-04	0,0000	$Y = 1/(a + b/X)$
Inverso de Y	-0,9277	86,0700%	1,7160E-04	0,0000	$Y = 1/(a + b * X)$

a) Valor del intercepto de los valores estimados de los mínimos cuadrados
b) Valor de la pendiente de los valores estimados de los mínimos cuadrados
X) Valor de Consistencia

El modelo seleccionado fue el curva–s con valores de (r), (R^2) y error estándar de 0,9643; 93,2600%; 0,1023, respectivamente. En el Anexo XLII se reporta la información estadística del modelo curva-s seleccionado y en la Ecuación 42 se tiene la relación matemática que explica la correlación entre la viscosidad calcula y la consistencia.

Modelo Curva-S: $Visc.Ecuación = \exp(10{,}3980 - \frac{0{,}7695}{Consistencia})$ [42]

3.4.2.3 Correlaciones de resultados agrupados por nivel de concentración de sólidos solubles

Para estas correlaciones se aplicó la misma metodología y criterios de variables dependientes e independientes utilizados en los numerales anteriores. Por tanto, sin considerar el tipo de muestra, los valores de la Tabla 3.15 fueron agrupados de acuerdo a los niveles de concentración de sólidos solubles de 0, 20, 40 y 60 °Brix.

Debido a que, se utilizó agua destilada a 20 °C para el nivel 0 °Brix de tratamientos de miel de panela y jarabes de azúcar, no se aplicó las correlaciones previstas, ya que en este caso la falta de correlación evidenció la reproducibilidad de las mediciones para agua destilada, las cuales en forma de promedios se presentan en la Tabla 3.33.

Tabla 3.33. Valores promedio de las mediciones de viscosidad y consistencia del nivel 0 °Brix (agua destilada a 20 °C)

TIPO DE MUESTRA	**Viscosidad TXT*** Área bajo la curva **Pa·s**	**Viscosidad Ec.*** Dif. Esfuerzos **Pa·s**	**Viscosidad Cannon** Visc. Absoluta **Pa·s**	**Consistencia*** **Kg*s**
Miel de panela	16 465,5197 ± 1 150,9600	479,3324 ± 83,0200	1,0020E-03 ± 1,4500E-11	0,1903 ± 0,0018
Jarabe de azúcar morena	15 361,4446 ± 596,2500	488,2331 ± 45,0500	1,0020E-03 ± 1,4500E-11	0,1880 ± 0,0018
Jarabe de azúcar blanca	17 889,5099 ± 1 329,5400	564,0667 ± 73,9500	1,0020E-03 ± 1,4500E-11	0,1896 ± 0,0015

* Desviación estándar de 3 réplicas

Para el resto de niveles de concentración de sólidos solubles, se comprobó que la única correlación relevante fue la obtenida entre las mediciones instrumentales de viscosidad (área bajo la curva) versus viscosidad absoluta. Estos resultados concordaron con los del análisis de varianza, ya que por ejemplo: para la viscosidad calculada, los valores correspondientes a jarabe de azúcar morena fueron estadísticamente similares tanto, respecto a miel de panela como, a jarabe de azúcar blanca. Por este hecho, los resultados de viscosidad calculada, agrupados por nivel de concentración de sólidos solubles no reflejaron correlación en función a la viscosidad absoluta.

En cuanto a las correlaciones de viscosidad instrumental por área bajo la curva y la viscosidad calculada en función de la consistencia, con mayor argumento no se determinó tendencia definida. Esto debido a que mediante el análisis de varianza se estableció que los valores de consistencia no fueron diferenciables estadísticamente entre muestras, por tanto, al agrupar los resultados de consistencia por nivel de concentración de sólidos solubles, las correlaciones no fueron factibles.

Mediciones instrumentales de viscosidad (área bajo la curva) versus viscosidad absoluta de miel de panela y jarabes de azúcar a 20 °Brix: Como se puede apreciar en la Tabla 3.34, los cinco últimos modelos presentaron parámetros estadísticos de validez muy cercanos entre sí. Sin embargo, con base en los valores de (r), (R^2) y error estándar de 0,9597, 92,1000 y 0,0283, respectivamente, el modelo curva-s fue seleccionado.

Tabla 3.34. Valores de coeficiente de correlación, coeficiente de regresión, error estándar, el valor de P y las ecuaciones de los modelos que se ajustan a la regresión simple entre la Visc. TXT vs Visc. Cannon a 20 °Brix

Regresión simple – Visc. TXT vs. Visc. Cannon					
Comparación entre modelos alternativos					
Modelo	**C. Correlación (r)**	**C. Regresión (R^2)**	**Error Estándar (Error)**	**V. Probabilidad (Valor P)**	**Ecuación (Ec)**
Inverso de X	-0,9610	92,3500%	0,0000	0,1000	$Y = a + b/X$
Logaritmo de X	0,9607	92,2900%	652,7910	0,0000	$Y = \mathrm{a} + \mathrm{b} * \ln(\mathrm{X})$
Raíz cuadrada de X	0,9605	92,2600%	654,0110	0,0000	$Y = a + b * sqrt(X)$
Lineal	0,9604	92,2300%	655,2600	0,0000	$Y = a + b * X$
Raíz cuadrada de Y	0,9598	92,1200%	2,1587	0,0000	$Y = (a + b * X)\hat{}2$
Curva S	-0,9597	92,1000%	0,0283	0,0000	$Y = \exp(a + b/X)$
Multiplicativo	0,9593	92,0200%	0,0284	0,0000	$Y = a * X\hat{}b$
Exponencial	0,9589	91,9400%	0,0285	0,0000	$Y = \exp(a + b * X)$
Doble inverso	0,9572	91,6300%	0,0000	0,0000	$Y = 1/(a + b/X)$
Inverso de Y	-0,9562	91,4400%	0,0000	0,0000	$Y = 1/(a + b * X)$

a) Valor del intercepto de los valores estimados de los mínimos cuadrados
b) Valor de la pendiente de los valores estimados de los mínimos cuadrados
X) Valor de Visc. Cannon

En el Anexo XLIII se reporta la información estadística del modelo curva-s seleccionado y en la Ecuación 43 se tiene la relación matemática que explica la correlación entre la viscosidad (área bajo la curva) y la viscosidad absoluta.

Modelo Curva-S: $Visc.Ecuación = \exp(17{,}7335 - \frac{0{,}01471}{Visc.Cannon})$ [43]

Mediciones instrumentales de viscosidad (área bajo la curva) versus viscosidad absoluta de miel de panela y jarabes de azúcar a 40 °Brix: Para la correlación de las mediciones instrumentales de viscosidad versus la viscosidad absoluta a la concentración de 40 °Brix, fue seleccionado el modelo exponencial. La correlación entre estas dos variables fue moderadamente significativa con un valor de probabilidad menor que 0,05. Como se puede apreciar en la Tabla 3.35, con el modelo exponencial se obtuvieron valores de (r), (R^2) y error estándar de 0,8045, 64,7200% y 0,0471, respectivamente. En el Anexo XLIV se reporta la información del modelo exponencial seleccionado y en la Ecuación 44 se tiene la relación que explica la correlación entre la viscosidad y la viscosidad absoluta.

Tabla 3.35. Valores de coeficiente de correlación, coeficiente de regresión, error estándar, el valor de P y las ecuaciones de los modelos que se ajustan a la regresión simple entre la Visc. TXT vs Visc. Cannon

Regresión simple – Visc. TXT vs. Visc. Cannon					
Comparación entre modelos alternativos					
Modelo	**C. Correlación (r)**	**C. Regresión (R^2)**	**Error Estándar (Error)**	**V. Probabilidad (Valor P)**	**Ecuación (Ec)**
Inverso de Y	-0,8180	66,9200%	0,0000	0,1000	$Y = 1/(a + b * X)$
Doble inverso	0,8151	66,4400%	0,0000	0,1000	$Y = 1/(a + b/X)$
Exponencial	0,8045	64,7200%	0,0471	0,0089	$Y = \exp(a + b * X)$
Multiplicativo	0,8029	64,4700%	0,0473	0,0092	$Y = a * X\hat{}b$
Curva S	-0,8013	64,2000%	0,0475	0,0094	$Y = \exp(a + b/X)$
Raíz cuadrada de Y	0,7974	63,5900%	4,2569	0,0100	$Y = (a + b * X)\hat{}2$
Lineal	0,7901	62,4200%	1 534,2000,	0,0113	$Y = a + b * X$
Raíz cuadrada de X	0,7892	62,2900%	1 536,9100	0,0114	$Y = a + b * sqrt(X)$
Logaritmo de X	0,7884	62,1500%	1 539,7000	0,0116	$Y = \mathrm{a} + \mathrm{b} * \ln(\mathrm{X})$
Inverso de X	-0,7886	61,8700%	1 545,5100	0,0119	$Y = a + b/X$

a) Valor del intercepto de los valores estimados de los mínimos cuadrados
b) Valor de la pendiente de los valores estimados de los mínimos cuadrados
X) Valor de Visc. Cannon

Modelo Exponencial: $Visc.TXT = \exp(7{,}7714 + 422{,}723 * Visc.Cannon)$ [44]

Mediciones instrumentales de viscosidad (área bajo la curva) versus viscosidad absoluta de miel de panela y jarabes de azúcar a 60 °Brix: Para la correlación de las mediciones instrumentales de viscosidad versus la viscosidad absoluta a la concentración de 60 °Brix, fue seleccionado el modelo exponencial con un valor de probabilidad menor que 0,0001, la correlación entre estas dos variables fue altamente significativa.

Como se puede apreciar en la Tabla 3.36, con el modelo exponencial se obtuvo valores de (r), (R^2) y error estándar de 0,9598, 91,9100% y 0,0176, respectivamente.

En el Anexo XLV se reporta la información estadística del modelo exponencial seleccionado y en la Ecuación 45 se tiene la relación matemática que explica la correlación entre la viscosidad (área bajo la curva) y la viscosidad absoluta.

Tabla 3.36. Valores de coeficiente de correlación, coeficiente de regresión, error estándar, el valor de P y las ecuaciones de los modelos que se ajustan a la regresión simple entre la Visc. TXT vs Visc. Cannon

Regresión simple – Visc. TXT vs. Visc. Cannon					
Comparación entre modelos alternativos					
Modelo	**C. Correlación (r)**	**C. Regresión (R^2)**	**Error Estándar (Error)**	**V. Probabilidad (Valor P)**	**Ecuación (Ec)**
Inverso de Y	-0,9634	92,8200%	0,0000	0,1000	$Y = 1/(a + b * X)$
Exponencial	0,9598	92,1200%	0,0176	0,0089	$Y = \exp(a + b * X)$
Doble inverso	0,9587	91,9100%	0,0000	0,1000	$Y = 1/(a + b/X)$
Raíz cuadrada de Y	0,9578	91,7400%	1,9105	0,0100	$Y = (a + b * X)\hat{}2$
Multiplicativo	0,9574	91,6600%	0,0181	0,0092	$Y = a * X\hat{}b$
Lineal	0,9557	91,3400%	829,8140	0,0113	$Y = a + b * X$
Raíz cuadrada de X	0,9544	91,0900%	841,5620	0,0114	$Y = a + b * sqrt(X)$
Curva S	-0,9541	91,0400%	0,0187	0,0094	$Y = \exp(a + b/X)$
Logaritmo de X	0,9529	90,8000%	855,2520	0,0116	$Y = \mathrm{a} + \mathrm{b} * \ln(\mathrm{X})$
Inverso de X	-0,9491	90,0900%	887,5410	0,0119	$Y = a + b/X$

a) Valor del intercepto de los valores estimados de los mínimos cuadrados
b) Valor de la pendiente de los valores estimados de los mínimos cuadrados
X) Valor de Visc. Cannon

Modelo Exponencial: $Visc.TXT = \exp(10{,}0922 + 11{,}1252 * Visc.Cannon)$ [45]

3.5 CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES COMPLEMENTARIAS DE LAS MUESTRAS DE MIEL DE PANELA Y JARABES DE AZÚCAR

3.5.1 DENSIDAD

Los valores de densidad a 20 °C de las muestras de miel de panela, jarabe de azúcar morena y azúcar blanca a 0, 20, 40 y 60 °Brix, se presentan en la Tabla 3.37.

El valor promedio máximo de densidad presentó el tratamiento a_0b_3 (Miel de panela a 60 °Brix) con 1 288,2333 kg/m^3 y el valor promedio más bajo presentaron los tratamientos a_0b_0, a_1b_0, a_2b_0 con un valor de 998,200 kg/m^3, los

tres tratamientos presentan el mismo valor, debido a que b_0 es el factor concentración a 0 °Brix y como se explicó anteriormente para esta concentración se utilizó agua destilada a 20 °C.

Tabla 3.37. Densidad de miel de panela, jarabe de azúcar morena, azúcar blanca en función de la concentración

Tratamientos	Densidad (Kg/m^3) Réplica			Promedio
	1*	2*	3*	
a_0b_0 (Miel de panela a 0 °Brix)	998,2000	998,2000	998,2000	998,2000
a_0b_1 (Miel de panela a 20 °Brix)	1 080,7000	1 082,0000	1 080,6000	1 081,1000
a_0b_2 (Miel de panela a 40 °Brix)	1 174,0000	1 172,0000	1 174,0000	1 173,3333
a_0b_3 (Miel de panela a 60 °Brix)	1 292,7000	1 286,0000	1 286,0000	1 288,2333
a_1b_0 (Jarabe de azúcar morena a 0 °Brix)	998,2000	998,2000	998,2000	998,2000
a_1b_1 (Jarabe de azúcar morena a 20 °Brix)	1 080,0000	1 080,0000	1 080,0000	1 080,0000
a_1b_2 (Jarabe de azúcar morena a 40 °Brix)	1 176,0000	1 174,0000	1 176,0000	1 175,3333
a_1b_3 (Jarabe de azúcar morena a 60 °Brix)	1 286,0000	1 285,3000	1 286,0000	1 285,7667
a_2b_0 (Jarabe de azúcar blanca a 0 °Brix)	998,2000	998,2000	998,2000	998,2000
a_2b_1 (Jarabe de azúcar blanca a 20 °Brix)	1 082,0000	1 082,0000	1 082,0000	1 082,0000
a_2b_2 (Jarabe de azúcar blanca a 40 °Brix)	1 176,0000	1 172,0000	1 174,0000	1 174,0000
a_2b_3 (Jarabe de azúcar blanca a 60 °Brix)	1 292,7000	1 286,6000	1 284,0000	1 287,7667

* Promedio (n = 3)

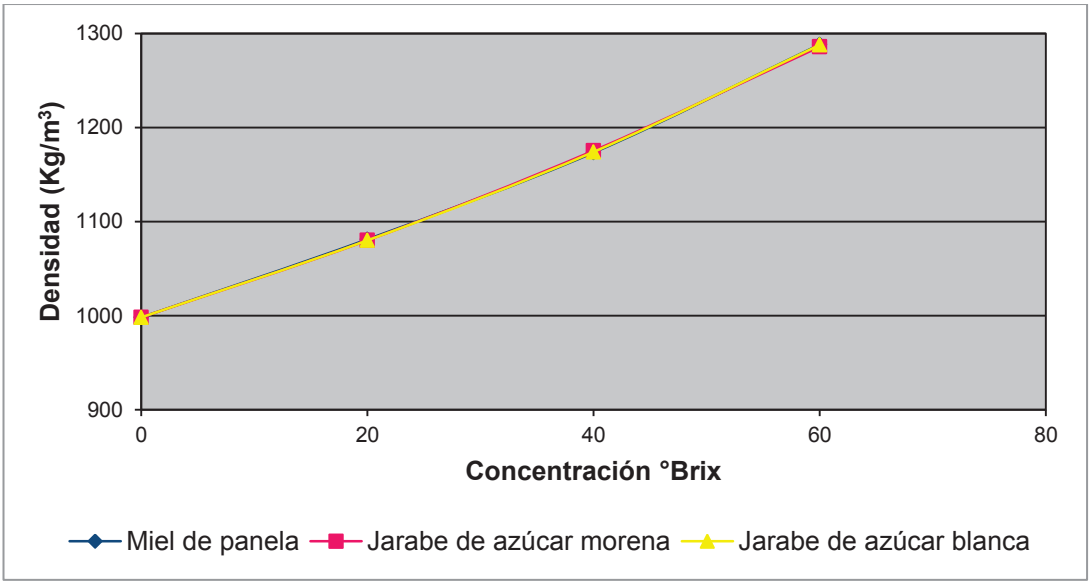

Figura 3.7. Densidad de miel de panela, jarabe de azúcar morena, jarabe de azúcar blanca en función de la concentración

La densidad y la concentración de sólidos solubles presentan una relación directa, como se puede observar en la Figura 3.7. A medida que se incrementa la concentración de sólidos solubles (°Brix), también se incrementa el valor de la densidad de la miel y los jarabes de azúcar. La variación de la densidad entre las muestras analizadas fue mínima, por ello, las curvas de densidad versus concentración de sólidos solubles de la Figura 3.7, se observan superpuestas.

3.5.2 ACTIVIDAD DE AGUA

Los valores de actividad de agua a 20 °C de muestras de miel de panela, jarabe de azúcar morena y azúcar blanca a 0, 20, 40 y 60 °Brix, son presentados en la Tabla 3.38.

Tabla 3.38. Actividad de agua, de miel de panela, jarabe de azúcar morena, azúcar blanca en función de la concentración

Tratamientos	Densidad (Kg/m^3) Réplica			Promedio
	1*	2*	3*	
a_0b_0 (Miel de panela a 0 °Brix)	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
a_0b_1 (Miel de panela a 20 °Brix)	0,9400	0,9300	0,9366	0,9355
a_0b_2 (Miel de panela a 40 °Brix)	0,9333	0,9200	0,9233	0,9255
a_0b_3 (Miel de panela a 60 °Brix)	0,8600	0,8600	0,8600	0,8600
a_1b_0 (Jarabe de azúcar morena a 0 °Brix)	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
a_1b_1 (Jarabe de azúcar morena a 20 °Brix)	0,9433	0,9366	0,9433	0,9411
a_1b_2 (Jarabe de azúcar morena a 40 °Brix)	0,9233	0,9166	0,9166	0,9188
a_1b_3 (Jarabe de azúcar morena a 60 °Brix)	0,8633	0,8600	0,8566	0,8600
a_2b_0 (Jarabe de azúcar blanca a 0 °Brix)	1,0000	1,0000	1,0000	1,0000
a_2b_1 (Jarabe de azúcar blanca a 20 °Brix)	0,9366	0,9300	0,9366	0,9344
a_2b_2 (Jarabe de azúcar blanca a 40 °Brix)	0,9166	0,9200	0,9266	0,9211
a_2b_3 (Jarabe de azúcar blanca a 60 °Brix)	0,8566	0,8600	0,8600	0,8589

* Promedio (n = 3).

Al contrario de la densidad, viscosidad, consistencia, la actividad de agua de la miel de panela y jarabes de azúcar disminuye mientras aumenta la concentración de sólidos solubles, es decir, la relación entre actividad de agua y concentración

de sólidos solubles es inversa (Figura 3.8). El valor más alto de actividad de agua fue de 1 y pertenece a los tratamientos a_0b_0, a_1b_0, a_2b_0, en contraste el valor más bajo de actividad de agua correspondió al tratamiento a_2b_3 (Jarabe de azúcar blanca a 60 °Brix) con 0,86.

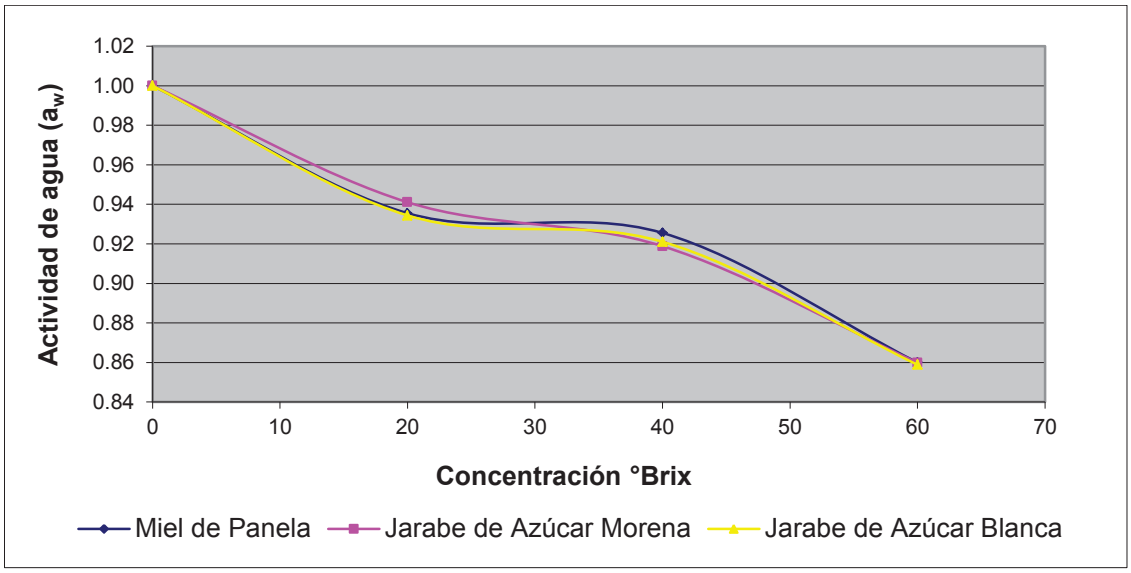

Figura 3.8. Actividad de Agua de miel de panela, jarabes de azúcar morena y jarabe de azúcar blanca en función de la concentración

3.5.3 CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Los valores de conductividad eléctrica a 20 °C de muestras de miel de panela, jarabe de azúcar morena y azúcar blanca a 0, 20, 40 y 60 °Brix, son presentados en la Tabla 3.39.

El valor máximo de conductividad eléctrica se determinó para el tratamiento a_0b_1 (Miel de panela a 20 °Brix) con 1,37 milisiemens por centímetro (mS/cm) y se corroboró que el valor mínimo (0,0100 mS/cm) perteneció al promedio de los tratamientos de agua destilada (a_0b_0, a_1b_0, a_2b_0) y a los tratamientos de jarabe de azúcar blanca. La conductividad eléctrica es una medida indirecta de sales minerales, por lo tanto, estos resultados evidenciaron que el contenido mineral fue mayor en miel de panela y jarabe de azúcar morena que en jarabe de azúcar blanca o refinada.

Tabla 3.39. Conductividad eléctrica, de miel de panela, jarabe de azúcar morena, azúcar blanca en función de la concentración

Tratamientos	Densidad (Kg/m^3) Réplica			Promedio
	1*	2*	3*	
a_0b_0 (Miel de panela a 0 °Brix)	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100
a_0b_1 (Miel de panela a 20 °Brix)	1,3700	1,3700	1,3700	1,3700
a_0b_2 (Miel de panela a 40 °Brix)	1,2033	1,1930	1,2200	1,2054
a_0b_3 (Miel de panela a 60 °Brix)	0,3930	0,3960	0,3933	0,3941
a_1b_0 (Jarabe de azúcar morena a 0 °Brix)	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100
a_1b_1 (Jarabe de azúcar morena a 20 °Brix)	0,4866	0,4933	0,5000	0,4933
a_1b_2 (Jarabe de azúcar morena a 40 °Brix)	0,4866	0,4133	0,4200	0,4400
a_1b_3 (Jarabe de azúcar morena a 60 °Brix)	0,1466	0,1400	0,1300	0,1389
a_2b_0 (Jarabe de azúcar blanca a 0 °Brix)	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100
a_2b_1 (Jarabe de azúcar blanca a 20 °Brix)	0,0430	0,0433	0,0433	0,0432
a_2b_2 (Jarabe de azúcar blanca a 40 °Brix)	0,0300	0,0300	0,0300	0,0300
a_2b_3 (Jarabe de azúcar blanca a 60 °Brix)	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100

Promedio (n = 3).

En la Figura 3.9 se observa que a 20 °Brix y 20 °C, la muestra de miel de panela reporta mayor valor de conductividad eléctrica, seguida por la muestra de jarabe de azúcar morena y por último, la muestra de jarabe de azúcar blanca.

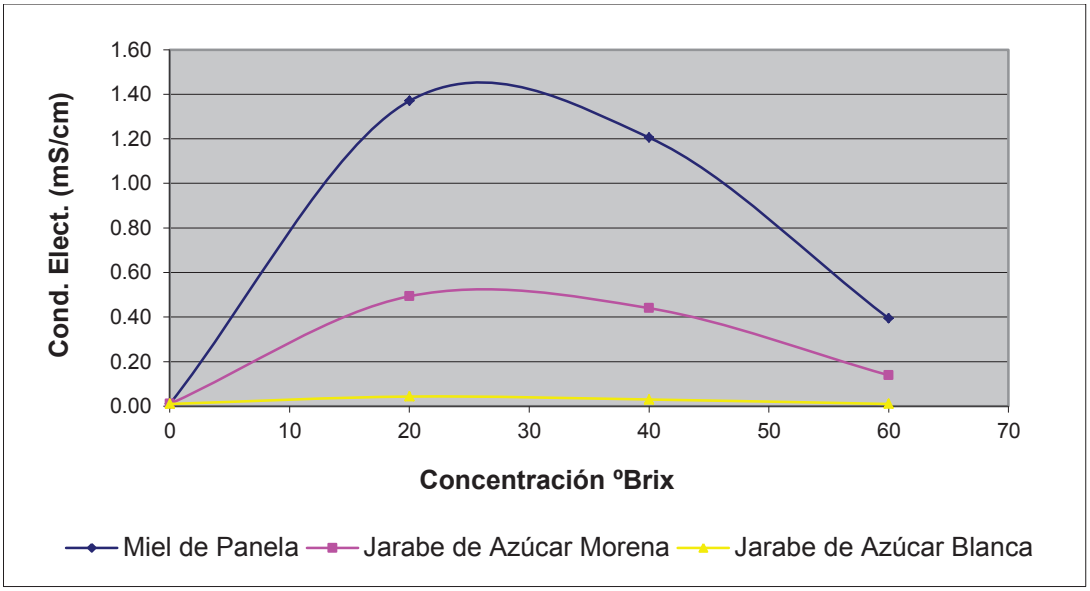

Figura 3.9. Conductividad eléctrica de miel de panela, jarabes de azúcar morena y jarabe de azúcar blanca en función de la concentración

La diferencia marcada entre las curvas presentadas en esta gráfica se debe al contenido de minerales presentes en las tres muestras (Anexo I), por lo tanto, el mayor contenido de minerales corresponde a la miel de panela, seguido del jarabe de azúcar morena y por último el jarabe de azúcar blanca.

En general, las mediciones de conductividad eléctrica deberían ser realizadas en muestras de mieles y jarabes de hasta 20 °Brix, ya que, a concentraciones más altas, los valores disminuyeron gradualmente. La relación inversa entre la conductividad eléctrica y el contenido de sólidos solubles presentes en la muestra, se ratifica en el trabajo realizado por Naranjo, 2008. Al medir esta propiedad en miel de caña a 35 °C y a 50, 60 y 70 °Brix.

3.5.4 SÓLIDOS TOTALES

Tabla 3.40. Porcentaje de sólidos totales en las muestras de miel de panela, jarabe de azúcar morena, azúcar blanca en función de la concentración

Tratamientos	Densidad (Kg/m^3) Réplica			Promedio
	1*	2*	3*	
a_0b_0 (Miel de panela a 0 °Brix)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
a_0b_1 (Miel de panela a 20 °Brix)	20,4634	20,6923	20,4222	20,5260
a_0b_2 (Miel de panela a 40 °Brix)	40,0304	40,3809	40,3237	40,2450
a_0b_3 (Miel de panela a 60 °Brix)	60,4493	60,4964	60,2048	60,3835
a_1b_0 (Jarabe de azúcar morena a 0 °Brix)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
a_1b_1 (Jarabe de azúcar morena a 20 °Brix)	20,2340	20,9471	20,2340	20,4717
a_1b_2 (Jarabe de azúcar morena a 40 °Brix)	40,1869	40,6547	40,6247	40,4888
a_1b_3 (Jarabe de azúcar morena a 60 °Brix)	60,1728	60,4964	60,3465	60,3386
a_2b_0 (Jarabe de azúcar blanca a 0 °Brix)	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000
a_2b_1 (Jarabe de azúcar blanca a 20 °Brix)	20,0311	20,0680	20,0462	20,0484
a_2b_2 (Jarabe de azúcar blanca a 40 °Brix)	40,0645	40,0927	40,0687	40,0753
a_2b_3 (Jarabe de azúcar blanca a 60 °Brix)	60,0550	60,0601	60,0382	60,0511

*Promedio (n = 3)

Los valores en porcentaje de sólidos totales obtenidos por diferencia de peso durante el secado en estufa, presentados en la Tabla 3.40, demostraron la

precisión en la preparación de miel de panela y jarabes de azúcar de 20, 40 y 60 °Brix o porcentaje de sólidos solubles. Como se evidenció mediante la conductividad eléctrica, en este caso, la fracción decimal es atribuida a la presencia de sólidos insolubles como indicativo del contenido mineral de las muestras de miel de panela y jarabes de azúcar. Además, la fracción decimal del contenido de sólidos totales es menor en el jarabe de azúcar blanca que tiene el más alto grado de refinamiento, que en miel de panela y jarabe de azúcar morena.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- La jeringuilla de vidrio de 10 mL, utilizada como accesorio del equipo analizador de textura TA-XT2i permitió medir parámetros reológicos y con ellos determinar valores de viscosidad de miel de panela y jarabes de azúcar, diferenciados a diferentes concentraciones.

- El área de contacto considerada entre el émbolo de la jeringuilla y la muestra para obtener las mediciones de esfuerzo en unidades de presión en un tiempo determinado, permitió obtener gráficamente (área bajo la curva de esfuerzo vs tiempo) valores en unidades de viscosidad con tendencia creciente en función a la concentración de sólidos solubles de miel de panela y jarabes de azúcar.

- El nuevo ensayo instrumental reológico generó mediciones de esfuerzo y área bajo la curva reproducibles con coeficiente de variación menores que el 10% entre determinaciones por tipo de muestra y niveles de concentración de sólidos solubles.

- Las mediciones de los parámetros reológicos del analizador de textura (TA-XT2i) en unidades de presión y las dimensiones de la jeringuilla respecto al volumen de muestra utilizada fueron aplicables a la Ecuación que relaciona la caída de presión a caudal constante, y dieron resultados diferentes respecto al contenido de sólidos solubles.

- Al presentar, tanto la viscosidad instrumental por área bajo la curva de esfuerzo, como la viscosidad calculada por diferencia de esfuerzo, tendencias exponencialmente crecientes con el aumento del contenido de sólidos solubles en las muestras se confirmó la validez del nuevo ensayo.

- Los coeficientes de correlación (r), de regresión o determinación (R^2), el error

estándar y el valor de probabilidad (valor p) de las curvas de viscosidad instrumental versus concentración de sólidos solubles evidenciaron la validez de las mediciones de viscosidad por área bajo la curva y viscosidad calculada por diferencia de esfuerzo, obtenidas en el nuevo ensayo para en miel de panela y jarabes de azúcar de 0 a 60 °Brix.

- Los resultados de viscosidad absoluta de miel y jarabes de azúcar obtenidos a través de los viscosímetros de tubo capilar tipo Cannon-Fenske, así como la viscosidad instrumental y la viscosidad por diferencia de esfuerzo, mostraron tendencia exponencialmente creciente al incrementar la concentración de sólidos solubles en miel de panela y jarabes de azúcar de 0 a 60 °Brix.

- El comportamiento de la miel de panela y de los jarabes de azúcar fue similar en todas las metodologías utilizadas para determinar la viscosidad, todos los valores de viscosidad aumentaron a medida que se incrementó la concentración de sólidos solubles en las muestras desde 0 a 60 °Brix.

- El ensayo de medición de consistencia reportó valores exponencialmente crecientes debido al incremento de la concentración de sólidos solubles de miel de panela y jarabes de azúcar de 0 a 60 °Brix.

- Aun cuando, los valores de viscosidad obtenidos con el nuevo ensayo instrumental por área bajo la curva, con la ecuación por diferencia de esfuerzo y con el viscosímetro de tubo capilar tipo Cannon-Fenske no coinciden entre sí, la variación en función de la concentración de sólidos solubles fue exponencialmente creciente en todos los casos tanto para miel de panela como para los jarabes de azúcar morena y blanca.

- La tendencia creciente que presentó la consistencia en función a la concentración, tanto en miel de panela como en jarabes de azúcar morena y blanca responde al modelo matemático exponencial.

- Mediante el nuevo ensayo y con el viscosímetro de tubo Cannon-Fenske, las

mediciones de viscosidad fueron significativamente diferentes por tipo de muestra y por concentración de sólidos solubles. Lo cual evidenció la sensibilidad alta de estos dos métodos, ya que, es posible diferenciar entre mediciones de viscosidad en miel de panela, jarabe de azúcar morena, jarabe de azúcar blanca desde 0 a 60 °Brix.

- Según la prueba Tukey, la utilización de la ecuación por diferencia de esfuerzo para determinar la viscosidad es menos efectiva que las mediciones de viscosidad por área bajo la curva o con el viscosímetro Cannon-Fenske. En el caso de la viscosidad calculada, los valores de azúcar morena fueron estadísticamente iguales a los de miel de panela y jarabe de azúcar blanca e influyeron para que no exista buena correlación entre estos valores de viscosidad y los de viscosidad absoluta, agrupados por niveles de concentración de sólidos solubles.

- Al existir una correlación muy buena entre las mediciones globales de viscosidad, derivadas del nuevo ensayo (por área bajo la curva de esfuerzo y por diferencia de esfuerzo) y las de viscosidad absoluta, el nuevo ensayo generó mediciones válidas que pueden ser utilizadas para determinar la viscosidad de muestras de miel de panela y jarabes de azúcar de 0 a 60 °Brix.

- Las expresiones matemáticas: doble inverso; curva-s y como alternativo doble inverso y curva-s, fueron los modelos que mejor explicaron la variación de resultados globales de viscosidad por área bajo la curva versus viscosidad absoluta, viscosidad calculada versus viscosidad absoluta, viscosidad por área bajo la curva versus consistencia y viscosidad calcula versus consistencia, respectivamente, con valores de (r), (R^2), error estándar y valores-p significativamente confiables.

- Las correlaciones de resultados agrupados por tipo de muestra generaron valores más altos de (r) y (R^2) y por tanto, mayor confianza para validar los valores de viscosidad derivados del nuevo ensayo.

- Los modelos matemáticos generados por tipo de muestra, fueron similares a los globales en cuanto a miel de panela y jarabe de azúcar morena, pero no coincidieron mayormente para jarabe de azúcar blanca.

- Para jarabe de azúcar blanca, las expresiones matemáticas: multiplicativa, doble inverso; exponencial y curva-s, fueron los modelos que mejor explicaron la variación de resultados de viscosidad por área bajo la curva versus viscosidad absoluta, viscosidad calculada versus viscosidad absoluta, viscosidad por área bajo la curva versus consistencia y viscosidad calcula versus consistencia, respectivamente.

- Las correlaciones de resultados agrupados por nivel de concentración mostraron la reproducibilidad de las mediciones para agua destilada (0 °Brix) y para cada nivel de concentración, pero también, demostraron la sensibilidad baja de los resultados de viscosidad calculada por diferencia de esfuerzo y de las mediciones de consistencia como para evidenciar tendencias diferenciables en cada nivel de concentración debido a la presencia de miel de panela, jarabe de azúcar morena y jarabe de azúcar blanca.

- Únicamente las correlaciones de viscosidad por área bajo la curva versus viscosidad absoluta dieron resultados satisfactorios para las muestras de 20 y 60 °Brix, y moderadamente satisfactorios para las de 40 °Brix.

- La densidad de la miel de panela y jarabes de azúcar presentó una relación directa con la concentración de sólidos solubles presentes en la muestra. En la miel de panela, la densidad fue mayor, seguida de los jarabes de azúcar morena y blanca. En el caso de la actividad de agua la relación fue inversamente, es decir, a medida que aumentó la cantidad de sólidos solubles en la muestra el valor de actividad de agua disminuyó.

- Los valores conductividad eléctrica en miel de panela y jarabes de azúcar mostraron una relación creciente hasta niveles algo superiores a 20 °Brix, después de lo cual la tendencia fue decreciente.

- La variación de los valores de sólidos totales entre los tres tipos de muestras fue mínima, sin embargo al restar el contenido de sólidos solubles se evidenció la diferencia entre los tipos de muestras, ya que en miel de panela se determinó mayor contenido de sólidos insolubles que en jarabes de azúcar morena y azúcar blanca.

4.2 RECOMENDACIONES

- El método de manejo de la jeringuilla, incluidos la toma de muestra, el lavado y el secado, debe estar estandarizado para evitar errores en las mediciones de los parámetros reológicos en el analizador de textura TA-XT2i.

- Considerar el diámetro del émbolo de la jeringuilla que entra en contacto con la muestra para calcular el valor del área a ingresar en los parámetros de operación del texturómetro y con ello obtener las mediciones de esfuerzo en unidades de presión.

- Evaluar la utilización de jeringuillas de diferente diámetro y material, para sustituir las jeringuillas de vidrio utilizadas durante este nuevo ensayo.

- Probar esta nueva metodología con otros fluidos alimenticios para determinar si el texturómetro reporta los valores en términos de viscosidad también con fluidos no newtonianos y viscoelásticos.

- Medir la conductividad eléctrica en mieles y jarabes en rangos inferiores a 20 °Brix, para saber si la relación inversa con la concentración se mantiene o cambia.

BIBLIOGRAFÍA

1. Acadian maple, 2008, “Miel de Maple”, http://www.acadianmaple.com/ miel_maple., (Abril, 2010).

2. Ahmed, J., Prabhu, S., Raghavan, G. y Ngadi, M., 2007, “Physico-chemical, rheological, calorimetric and dielectric behavior of selected Indian honey”, Journal of Food Engineering, 79 (4), 1207.

3. Ahmet, G., Bakan, A., Nisbet, C. y Yavuz, O., 2007, “Determination of Important Biochemical Properties of Honey to Discriminate Pure and Adulterated Honey with Sucrose (Saccharum Officinarum) Syrup”, Food Chemistry, 105 (1), 1119.

4. Alvarado, J. y Aguilera, J., 2001, “Métodos para medir propiedades físicas en Industrias de alimentos”, Editorial Acribia, S.A., Zaragoza, España, pp.61- 184.

5. Alvarado, J., 1996, “Principios de Ingeniería Aplicados a Alimentos”. OEA-PRDCT., Radio Comunicaciones, División de Artes Gráficas. Quito, Ecuador, pp. 14-96, 180.

6. Apinetla, 2009, “Norma Técnica Colombiana NTC 1273”, http://www.apinetla. com.ar/ar/mercados/norma/norma%20colombia, (Diciembre, 2009).

7. Arnau, J., 2003, “Miel de Caña”, http://www.enbuenasmanos.com/articulos/ muestra.asp?art=835. (Diciembre 2009).

8. Association of Official Analytical Chemist (AOAC), 2005a, “Methods of analysis of AOAC International”, 18th edition, AOAC International , Maryland, United States, Chapter 27, p. 3.

9. Association of Official Analytical Chemist (AOAC), 2005b, “Methods of analysis of AOAC International”, 18 th edition, AOAC International , Maryland, United

States, Chapter 37, p. 3.

10. Azeredo, L., Azeredo, M., De Sous, S. y Dutra, V., 2003, “Protein Contents and Physicochemical Properties in Honey samples of Apis Melifera of Diferent Floral Origins”, Food Chemistry, 80 (1), 249.

11. Bhandari, B., D’Arcy, B. y Chow, S., 1999. “Rheology of selected Australian honeys”, Journal of Food Engineering, 41 (1), pp. 65.

12. Biodiesel, 2010, “Extrusímetros”, http://www.biodiesel.machine.com.extrusor, (Agosto, 2010).

13. Bird, B., Stewart, W. y Lightfoot, E., 1998, “Fenómenos de Transporte”, Editorial Reverté, Barcelona, España, pp. 1-10.

14. Blasa, M., Candiracci, M., Accorsi, A., Piacentini, M., Albertine, M. y Piatti, E., 2006, “Raw Millefiori Honey is Packed full Antioxidants”, Food Chemistry, 97 (1), 217.

15. Bourne, M., 2002, “Food Texture and Viscosity Concept and Measurement, Editorial Academic Press, New York, USA, pp. 73-93, 171- 177, 189-255.

16. Bregni, C., 1998, “Tecnología de Farmacéutica”, cbregni@ciudad.com.ar, (Diciembre, 2009).

17. C&H Sugar Company, 2007, “Pure cane dark Brown”, http://www.chsugar.com/ consumer/dark_brown.htmL., (Abril, 2010).

18. Castro, E., 1999, “Textura de los Alimentos”, http://www.mazinger.sisib.uchile. cl/repocitorio/Lb/ciencias/j/Castro09, (Diciembre, 2009).

19. Chirife, J., 2006, “The Correlation Between Water Activity and % Moisture in Honey: Fundamental Aspects and Application to Argentine Honeys”, Journal Of

Food Engineering, 72 (1), 287.

20. ConsumerEroski, 2009, “El agua en los alimentos”, http://consumereroski.com/ actividad_agua_alimentos., (Abril, 2010).

21. Corbella, E., 2002, “Calidad de mieles de Uruguay”, http://www.inia.org.uy/ conductividadelectrica_mieles., (Abril, 2010).

22. Dancona, N., 2000, “La estática de fluidos”, http.www.monografías.com/ trabajos5/estat/estat.shtml, (Abril, 2010).

23. De Hombre, R. y Díaz, A., 2001 “Textura de sólidos y semisólidos”, En: Métodos para medir Propiedades Físicas en Industrias de Alimentos, Juan de Dios Alvarado y José Miguel Aguilera, Editorial Acribia, S.A., Zaragoza, España, pp.109-135.

24. Díaz, A. y Ávila, I., 1998, “Viscosímetro de tubo para fluidos de la Industria Azucarera”, Tecnología Química, 18 (1), 55.

25. Directindustry, 2010, “Consistómetro de Bostwick”, http://www.directindustry. es.consistómetrodebostwick, (Agosto, 2010).

26. Domínguez, A., 2009, "Evaluación del efecto de tres condiciones de almacenamiento sobre la estabilidad y tiempo de vida en anaquel de panela granulada producida por las unidades artesanales en Ingapi y Pacto", Tesis previa a la obtención del titula de ingeniera Agroindustrial, otorgado por la EPN, Quito, Ecuador, p. 61.

27. Durán, L., Fiszan, S. y Benedito, C., 2001 “Propiedades mecánicas empíricas”, En: Métodos para medir Propiedades Físicas en Industrias de Alimentos, Juan de Dios Alvarado y José Miguel Aguilera, Editorial Acribia, S.A., Zaragoza, España, pp.147-185.

28. Gasparoux, J., Laux, D., Ferrandis, J. y Tordjeman P., 2008, “Large frecuency bands viscoelastic properties of honey”, Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, 153 (1), 46.

29. Gómez, D., Navaza, J. y Quintáns, L., 2004, “Estudio Viscosimétrico Preliminar de Mieles de Bosque Denominación Específica Miel de Galicia”, Ciencia y Tecnología Alimentaria, 4 (1), 234.

30. González, S., 2008, “Diseño mecánico de un equipo para la medida de la viscosidad en fluidos no newtonianos”, Tesis previa a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, otorgado por la UPCT, Cartagena, Colombia.

31. Hermida, J., 2000, Fundamentos de Ingeniería de Procesos Agroalimentarios, Editorial Mundi Prensa, Madrid, España, pp 201-220.

32. Hidalgo, R., 1997, “Determinación de propiedades reológicas y transporte de fluidos no newtonianos”, Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Químico, otorgado por la EPN, Quito, Ecuador, p. 1.

33. Ibarz, A., Barbosa, G., Garza, S. y Gimeno, V., 2000, “Métodos experimentales en la Ingeniería de alimentos”, Editorial Acribia, S.A., Zaragoza, España, pp.45-46.

34. Infoagro, 2008, “El mercado de la miel y el azúcar en la Unión Europea”, http://www.infoagro.com/hortalizas/miel_azúcar.htm, (Mayo, 2009).

35. Ingenio San Carlos, 2009a, “Miel de Caña”, http://www.sancarlos.com.ec/mieldecaña.php, (Diciembre, 2009).

36. Ingenio San Carlos, 2009b, “Panela granulada”, http://www.sancarlos.com.ec/panelagranulada.php, (Diciembre, 2009).

37. Inkanat, 2009, “Nutrimell”, http://www.inkanat.com/es/alimentacionnatural,

(Diciembre 2009).

38. Innatia, 2009, “Propiedades de la miel de abeja”, http://www.innatia.com/s/ c-propiedades-de-la-miel/a-propiedades-miel-de-abeja.html, (Abril, 2010).

39. Inta, 2010a, “Farinografos”, http://www.inta.gov.ar.farinógrafos, (Agosto, 2010).

40. Inta, 2010b, “Alveógrafos”, http://www.inta.gov.ar.alveógrafos, (Agosto, 2010).

41. Kayacier, A. y Karaman, S. 2008. Rheological and Some Physicochemical Characteristics of Selected Turkish Honeys. Journal of Texture Studies. 39 (1), 17.

42. Levenspiel, O., 1993, “Flujo de fluidos e Intercambio de calor”, Editorial Reverté, Barcelona, España, p. 17.

43. Mantilla, P., Jáuregui, S., Fragoso, M. y Gómez, R., 2008 “Análisis reológico de las mieles finales en Ingenios Azucareros de la región central de Cuba, http://www.eventos.fim,uclv/conec/cd/ponen/c1/c1-5.pdf, (Abril, 2010).

44. Martínez, C., 2005, “Estadística y muestreo”, Editorial ECOE, Bogotá, Colombia, pp. 611-642.

45. Naranjo, W., 2008, “Caracterización reológica y térmica de miel de dos variedades de caña”, Tesis Previa a la obtención del Título de Ingeniero en Alimentos, otorgado por la UTA, Ambato, Ecuador.

46. Núñez, M.; Méndez, M. y Solorza, J., 2001, Introducción a la Reología, http://www.publicaciones.ipn.mx/Pagina/1234.HTM, (Mayo, 2009).

47. Ortiz, F., Tobón, L., Alvarado, A., Torres, R., y Báez, O., 2008, “Disminución de pérdidas de sacarosa en la elaboración de meladura en un ingenio azucarero”, Revista de la Ingeniería Industrial, 2 (1) ,1.

48. Osorio, F., 2001, “Propiedades Reológicas de Alimentos Fluidos”, En: Métodos para medir Propiedades Físicas en Industrias de Alimentos, Juan de Dios Alvarado y José Miguel Aguilera, Editorial Acribia, S.A., Zaragoza, España, pp.89-108.

49. Ramírez, J., 2006, “Fundamentos de Reología de Alimentos”, Editorial JSR e-books, Calí, Colombia, pp. 2-18.

50. Ratia, G., 2001, “Calidad de miel de abejas y estándares de control”, http://www.beekeeping.com/calidad_mielhtm., (Abril,2010).

51. Restrepo, C., 2007, “Historia de la Panela”, http://www.Fedepanela.org/ Historia-panela, (Agosto, 2009).

52. Rodríguez, V. y Magro, S., 2008, “Bases de la Alimentación Humana”, Editorial Gesbiblo, pp 137-214, http://www.netbiblo.com/miel_abeja. (Abril, 2010).

53. Romo, A., Jiménez, A. y García H., 1998, “Caracterización nutricional de la panela granulada”, http://www.corpoica.org.co/sitioweb/ofertas/articulo.asp?id= 1404. (Junio, 2011).

54. Sahin, S. y Gulum, S. 2009, “Propiedades físicas de los alimentos”, Editorial Acribia, S.A., Saragoza, España, pp.48-70.

55. Salamanca, G., Pérez, F., Serra, B., 2004, “Determinación de la Actividad de agua en mieles Colombianas de las zonas de Boyacá y Tolima”, http://www.beekeeping.com/actividad_agua.html., (Abril, 2010).

56. Segura, J., 1993, “Termodinámica Técnica”, Editorial Reverté, Barcelona, España, p. 646.

57. Singh, R. y Heldman, D., 2009, “Introducción a la Ingeniería de Alimentos”, Editorial Acribia, S.A., Zaragoza, España, pp.55- 80.

58. Stable Micro Systems, 1997a. “User Manual Texture Analyser”, version 1, Editorial Godalming, YL, United Kingdon.

59. Stable Micro Systems, 1997b. “User Manual Texture Expert”, version 1, Editorial Godalming, YL, United Kingdon.

60. Steffe, J., 1996, “Reological Methods in Food Process Engineering”, Freeman Press editorial, Michigan, USA, pp. 1,2,14, 63-76, 94-96.

61. Suárez, G., 2004, “Análisis estadístico”, en Instituto Autónomo de Investigaciones Agropecuarias, “Memorias del curso de Análisis Estadístico”, Quito, Ecuador, pp. 24-25.

62. Takeshi, N., Reiji, I., Norio, K., Nobutaka, S. y Toshio, N., 2006, “Characterization of Honey from Different Floral Sources. Its Functional Properties and effects of honey species on storage of meat”, Food Chemistry, 97(1), 256.

63. Tecnosa, 2010, “Amilógrafos”, http://www.tecnosa.es.amilógrafos, (Agosto, 2010).

64. Terra, 2009, “JC. Maxwell, Teoría dinámica de los gases”, http://www.terra.es/ personal/flromera/cientifim.htm, (Marzo, 2010).

65. Tripaldi, P., Velín, T., Chialvo, L. y Rojas, C., 2007, “Propuesta de una práctica de Reología de alimentos”, en Universidad Técnica de Ambato, “Memorias Alimentos Ciencia e Ingeniería”, Editorial Luis Amoroso Mora, Ambato, Ecuador, pp. 347-349.

66. Viarural, 2010, “Penetrómetros”, http://www.viarural.com.ar.penetrometros, (Agosto 2010).

67. Vincent, J., 2003 “Aplication of Fracture Mechanics to the Textura of Food”,

http://Dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo, (Diciembre, 2009).

68. Vliet, T., 2001, “Clasificación reológica de alimentos y técnicas instrumentales para su estudio”, En: Textura de los alimentos. Medida y Percepción, Andrew J. Rosenthal, Editorial Acribia, S.A., Zaragoza, España, pp.65-98.

69. Yanniotis, S., Skaltsi, S. y Karaburnioti, S., 2006, “Effect of Moisture on the Viscosity of Honey at Different Temperatures”, Journal of Food Engineering, 72 (1), 372.

ANEXOS

ANEXO I
INSTRUMENTOS PARA MEDIR PROPIEDADES REOLÓGICAS EN LOS ALIMENTOS SÓLIDOS

Figura AI.1. Penetrómetro (Viarural, 2010)

Figura AI.2. Extrusímetro (Biodisel-Machine, 2010)

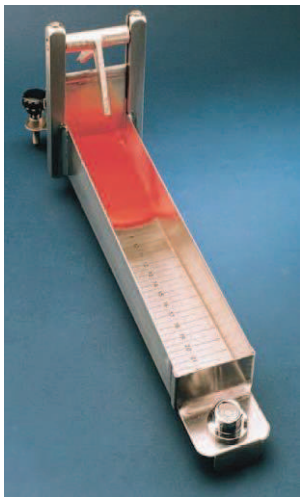

Figura AI.3. Consistómetro de Bostwick (Directindustry, 2010)

Figura AI.4. Farinógrafo (Inta, 2010ª)

Figura AI.5. Alveógrafo (Inta, 2010b)

Figura AI.6. Amilógrafo (Tecnosa, 2010)

ANEXO II
COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DE LA MATERIA PRIMA PARA LA ELABORACIÓN DE MIEL DE PANELA Y JARABES DE AZÚCARES

Tabla AII.1. Composición nutricional de la materia prima previa a la elaboración de miel de panela y jarabes de azúcar

	Unidades	**Azúcar blanca**	**Azúcar morena**	**Panela**
Sales minerales	mg	30,00 - 50,00	330,00 - 740,00	2850,00
Fósforo (P)	mg	0,25	3,00 - 3,90	116,00
Calcio (Ca)	mg	14,00	74,00 - 85,00	118,00
Magnesio (Mg)	mg	0,00	13,00 - 23,00	136,00
Potasio (K)	mg	4,60	40,00 - 100,00	1 056,00
Hierro (Fe)	mg	0,10	0,60 - 1,30	3,00
Sacarosa	%	99,50	96,00	92,14
Proteína	%	0,00	0,00	0,36
Fibra	%	0,00	0,00	0,21

Fuente: Domínguez, 2009

ANEXO III

CANTIDADES REQUERIDAS DE MATERIA PRIMA, AGUA Y TIEMPO, REQUERIDO PARA ELABORAR MIEL DE PANELA Y JARABES DE AZÚCAR A DIFERENTE CONCENTRACIÓN

Tabla AIII.1. Cantidades de materia prima para elaborar miel de panela y jarabes de azúcar

Muestra (500 mL)	**Sólidos solubles (%)**	**Cantidad**		**Tiempo aprox. (min)**	**Brixómetro (Rango)**
		Materia prima (g)	**Agua (mL)**		
Miel de panela	20	120	560	10	0 a 52
Jarabe de azúcar morena					
Jarabe de azúcar blanca					
Miel de panela	40	240	640	15	28 a 62
Jarabe de azúcar morena					
Jarabe de azúcar blanca					
Miel de panela	60	429	860	30	58 a 90
Jarabe de azúcar morena					
Jarabe de azúcar blanca					

ANEXO IV
MANUAL DE OPERACIÓN DEL TEXTURÓMETRO TA-XT2i

1. COMPONENTES DEL TEXTURÓMETRO

- PEDESTAL: Es el componente mas grande del equipo, en este se colocan las celdas de carga y los diferentes accesorios que se vaya a utilizar.
- CELDAS DE CARGA: Existen dos tipos de celda de 5 y 25 kg. Las celdas se cambian de acuerdo a las aplicaciones. Para cambiar las celdas hay que asegurarse que el pedestal esté libre de cualquier accesorio.
- PESAS: Hay dos tipos de pesas, de 2 y 5 kg. Se utilizan para calibrar el equipo. La calibración se realiza con la pesa de menor valor que la celda.
- ACCESORIOS: Son intercambiables, de acuerdo al parámetro que se vaya a evaluar.
- TECLADO: Sirve para fijar algunos parámetros para la calibración y las lecturas.
- CPU y MONITOR: Desde aquí se controla todo el trabajo y permite observar los datos y curvas obtenidas.

2. ENCENDIDO Y APAGADO DEL EQUIPO

Se debe encender primero el computador, luego el equipo y finalmente se ingresa al programa. Al iniciar el programa se introduce la contraseña. Para apagar, primero se apaga el equipo, luego el software y finalmente el computador.

3. CAMBIO DE CELDA DE CARGA

Para el cambio de celda de carga se realizan los siguientes pasos:

- Aflojar los tornillos de la celda y luego los tornillos de la parte superior, colocando siempre una mano en la parte inferior del pedestal para evitar que se caiga la celda

- Sacar todos los tornillos y la celda. La celda nueva tiene un tornillo guía que se saca luego de colocada la celda
- Colocar la celda nueva y ajustar todos los tornillos

4. CALIBRACIÓN DEL EQUIPO

La calibración se necesita únicamente cuando se cambian las celdas de carga o cuando se cambia de lugar el equipo. La calibración se realiza desde el teclado y el computador.

TECLADO:

- Girar la llave que se encuentra con dirección a la palabra RUN, hacia MACHINE CONFIGURE.
- Para girar la llave se debe presionar un poco y luego se gira.
- Presionar ENT hasta que en la pantalla del medio del teclado aparezca la palabra CELL, con las teclas + ó – llevar la celda correspondiente.
- Regresar la llave a RUN

EN EL PROGRAMA:

- Ir a la barra TA → Calibración de Fuerza (Chequear parámetros) → Colocar la pesa de calibración que pida → Presionar OK.
- Si la calibración se ha realizado correctamente debe aparecer una ventana que diga CALIBRACIÓN EXITOSA.

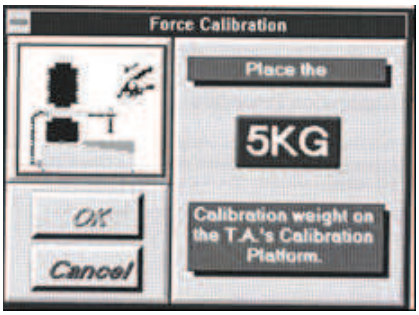

Figura AIV.1. Ventana de parámetros para calibración de fuerza en el programa

5. ENSAYO

5.1 Fijar parámetros

Antes de iniciar el ensayo, se deben definir los parámetros con los que se va a trabajar. Los parámetros dependen del accesorio y la muestra a utilizar. Una vez ingresado los parámetros, estos sirven para futuros ensayos y no es necesario fijarlos cada vez que se desee trabajar.

Pasos para ingresar Parámetros:

- Ingresar a la barra ARCHIVO y seleccionar NUEVO PROYECTO. Aparece un cuadro donde se pone el título.
- En la barra superior de la pantalla aparece un cuadro que dice TA. Seleccionar la opción Parámetros de TA.
- Ingresar los parámetros correspondientes al ensayo en el cuadro que aparece.
- Una vez seleccionados todos los parámetros se guardan. Siempre se debe guardar en c:/te_span, escoger la carpeta correspondiente a parámetros y poner el nombre del proyecto (nombre.set). Finalmente se acepta.
- Antes de cerrar el cuadro de parámetros de TA, dar clic en ACTUALIZAR, para transferir los datos al texturómetro. No se debe trabajar con tildes ni mayúsculas.

Regresar al proyecto donde se colocó el título y junto a parámetros aparece un cuadro punteado (…), dar un clic y escoger los parámetros.

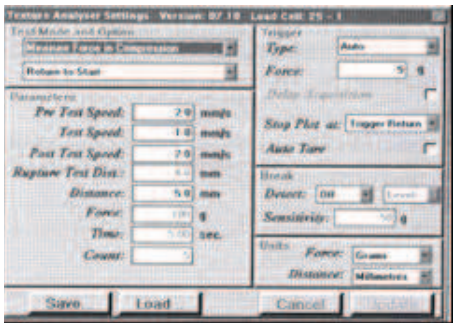

Figura AIV.2. Cuadro de diálogo para fijar parámetros en un nuevo ensayo

Así como los parámetros se debe crear una macro, que es la que controla el gráfico.

5.2 Pasos para crear una macro

- En ARCHIVOS seleccionar la opción nueva macro.
- Seleccionar los comandos, agregando o quitando del programa con las flechas que aparecen en la mitad del recuadro (» ó «).
- Poner título a la macro y guardar. (c:/te_span/macro/nombre.mac)
- Regresar al proyecto y seleccionar la macro correspondiente.

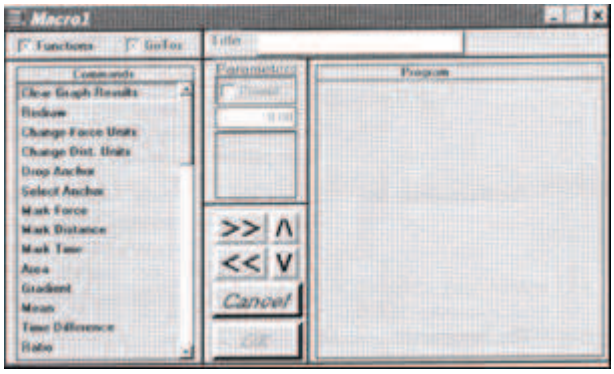

Figura AIV.3. Cuadro de diálogo para la creación de la macro

- Finalmente guardar el proyecto en: ARCHIVO → GUARDAR → c:/te_span/proyecto/nombre.prj.
- Para iniciar el ensayo presionar REINICIO y aparece la pantalla de trabajo.

5.3 Iniciar ensayo

Antes de iniciar el ensayo hay que comprobar que el pedestal tenga el accesorio correspondiente, si no es así cambiarlo, cuidando siempre que este bien sujeto.

Los accesorios se colocan en el segundo agujero de la parte inferior del pedestal.

Con el accesorio ya colocado hay que calibrar la sonda (distancia), los pasos para calibrar sonda son:

- Acercar lo máximo posible las placas o puntas del accesorio a la superficie donde va la muestra.

- En la barra TA, seleccionar Calibrar Sonda
- Escoger la distancia y aceptar

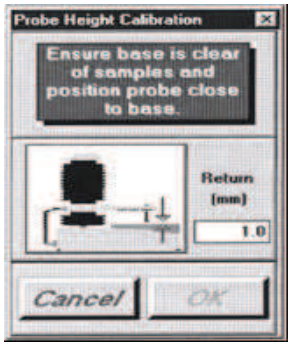

Figura AIV.4. Cuadro de diálogo para la calibración de la sonda

Se inicia con el ensayo en: TA → Ejecutar Ensayo → Llenar la plantilla → OK

- Seleccionar macro
- Poner el valor correspondiente a PPS
- Escoger los datos de la sonda, si no hay accesorio con el que va ha trabajar, escribir el nombre y poner añadir.

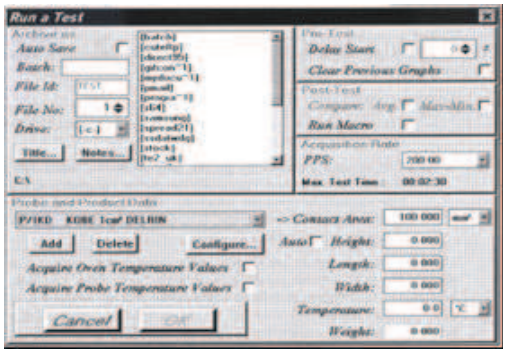

Figura AIV.5. Cuadro de diálogo para ejecutar un nuevo ensayo

Al terminar el ensayo se deben guardar los gráficos y los resultados. Para grabar los gráficos, cerrar el cuadro de los gráficos dando un clic en la X. Aparece un cuadro para guardar y poner si a todo. En el cuadro que aparece, se debe grabar los gráficos con los nombres respectivos dentro de la carpeta Gráficos en c:/te_span. Para los resultados, repetir en mismo proceso anterior y guardar dentro de la carpeta Resultados en c:/te_span.

ANEXO V
DEFINICIÓN DE LOS COMANDOS UTILIZADOS EN LA MACRO PARA MEDIR LA VISCOSIDAD EN MIEL DE PANELA Y JARABES DE AZÚCAR MEDIANTE EL NUEVO ENSAYO INSTRUMENTAL

- *Borrar resultado gráfico:* Esta función permite al programa presentar un gráfico por cada determinación, sin la ayuda de esta función tendríamos un solo gráfico con las curvas de cada determinación unas sobrepuestas en otras.

- *Presentar gráfico:* El programa reporta luego de realizar una determinación, una tabla de resultados, pero al momento de elegir esta función, el programa reporta el resultado en forma de tabla y gráfico.

- *Buscar hacia adelante:* Esta función nos permite obtener los datos en cualquier punto de la curva donde fijemos el cursor en el resultado gráfico.

- *Ir a tiempo mínimo:* Luego de realizar una determinación, esta orden, indica al programa que regrese al tiempo inicial, en este caso al tiempo cero segundos y de esta manera el equipo analizador de textura está listo para realizar una nueva determinación

- *Marcar fuerza:* Mediante esta función el programa almacena los resultados de la fuerza inicial ejercida por el brazo del Texturómetro, en forma de tabla después de cada determinación.

- *Fijar anclaje 1:* Un anclaje nos ayuda a separar las funciones dentro de una macro para obtener varios resultados en una sola determinación, en este nuevo ensayo reológico instrumental este anclaje 1 indica al programa que debe reportar el tiempo y la fuerza máxima que realiza el brazo del Texturómetro en cada determinación.

- *Ir a tiempo máximo:* Esta orden, indica al programa que se ubique en el

momento final del ensayo y reporte el tiempo que se tardó en realizar una determinación.

- *% de fuerza máxima:* Esta función ordena al programa reportar la máxima fuerza positiva realizada por el brazo del Texturómetro en cada determinación.

- *Marcar fuerza:* Mediante esta función el programa almacena el resultado de la fuerza máxima positiva ejercida por el brazo del Texturómetro, en forma de tabla después de cada determinación.

- *Marcar tiempo:* Al marcar tiempo en la macro, se ordena al programa, que almacene el resultado del tiempo que de tardo en ejecutar una determinación

- *Fijar anclaje 2:* Este anclaje indica al programa que debe reportar el área bajo la curva, delimitada entre los dos anclajes de cada determinación.

- Área: Comprende al área que da como resultado al momento de fijar las anclajes.

- Seleccionar anclaje 1: Activar el anclaje

- % de fuerza máxima: almacena y reporta la fuerza máxima positiva en forma de tabla en cada determinación.

- Seleccionar anclaje 2: Activar el anclaje.

ANEXO VI

EJEMPLOS DE LOS RESULTADOS EN FORMA DE TABLA Y GRÁFICO REPORTADOS POR EL TEXTURÓMETRO TA-XT2i, EN EL NUEVO ENSAYO INSTRUMENTAL REOLÓGICO DE MIELES Y JARABES

Parámetros	No	Valor	Unidades
Esfuerzo	1	0,1690	lb*/pul²
Esfuerzo	2	0,5720	lb*/pul²
Tiempo	1	8,0050	s
Área	1:2	2,4990	(lb*/pul²)·s

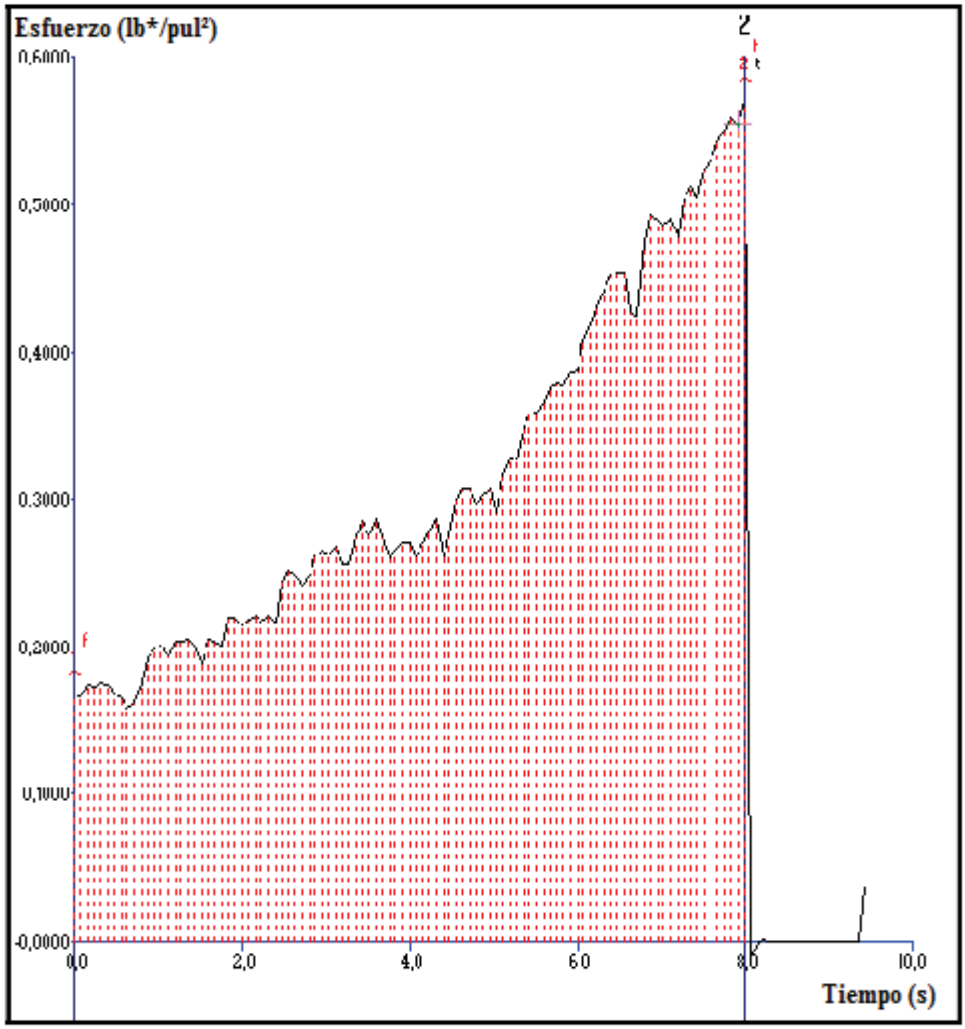

Figura AVI.1. Resultado en forma de tabla y gráfico reportado por el texturómetro del tratamiento a_0b_0, a_1b_0, a_2b_0, (agua destilada a 20 ºC usada para tratamiento 0 °Brix)

Parámetros	No	Valor	Unidades
Esfuerzo	1	0,1960	lb*/pul²
Esfuerzo	2	0,7330	lb*/pul²
Tiempo	1	8,0050	s
Área	1:2	3,8480	(lb*/pul²)·s

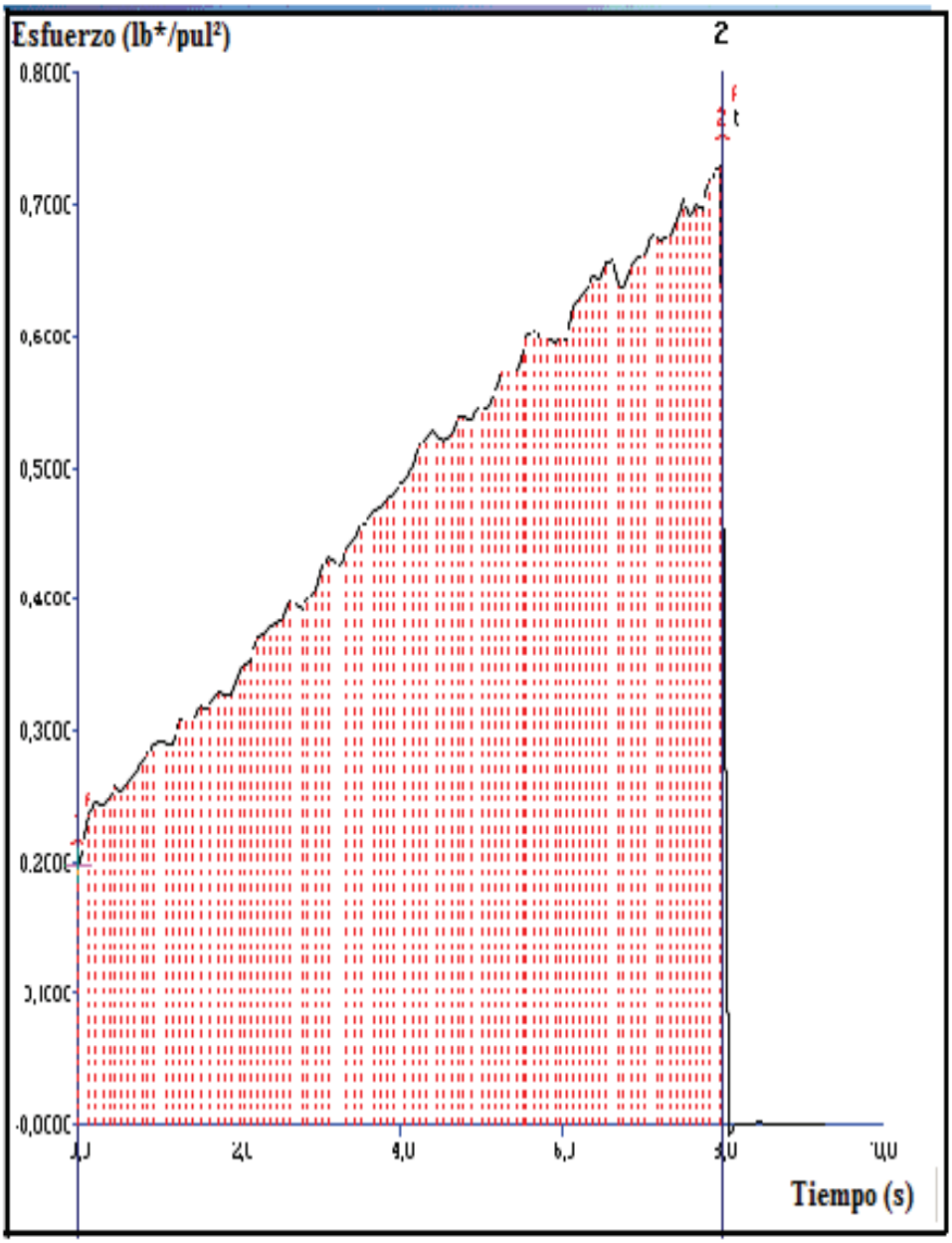

Figura AVI.2. Resultado de la tercera determinación de la segunda réplica, en forma de tabla y gráfico reportado por el texturómetro del tratamiento a_0b_1 (miel de panela a 20 °Brix)

Parámetros	No	Valor	Unidades
Esfuerzo	1	0,1830	lb*/pul²
Esfuerzo	2	0,8800	lb*/pul²
Tiempo	1	7,9950	s
Área	1:2	4,7520	(lb*/pul²)·s

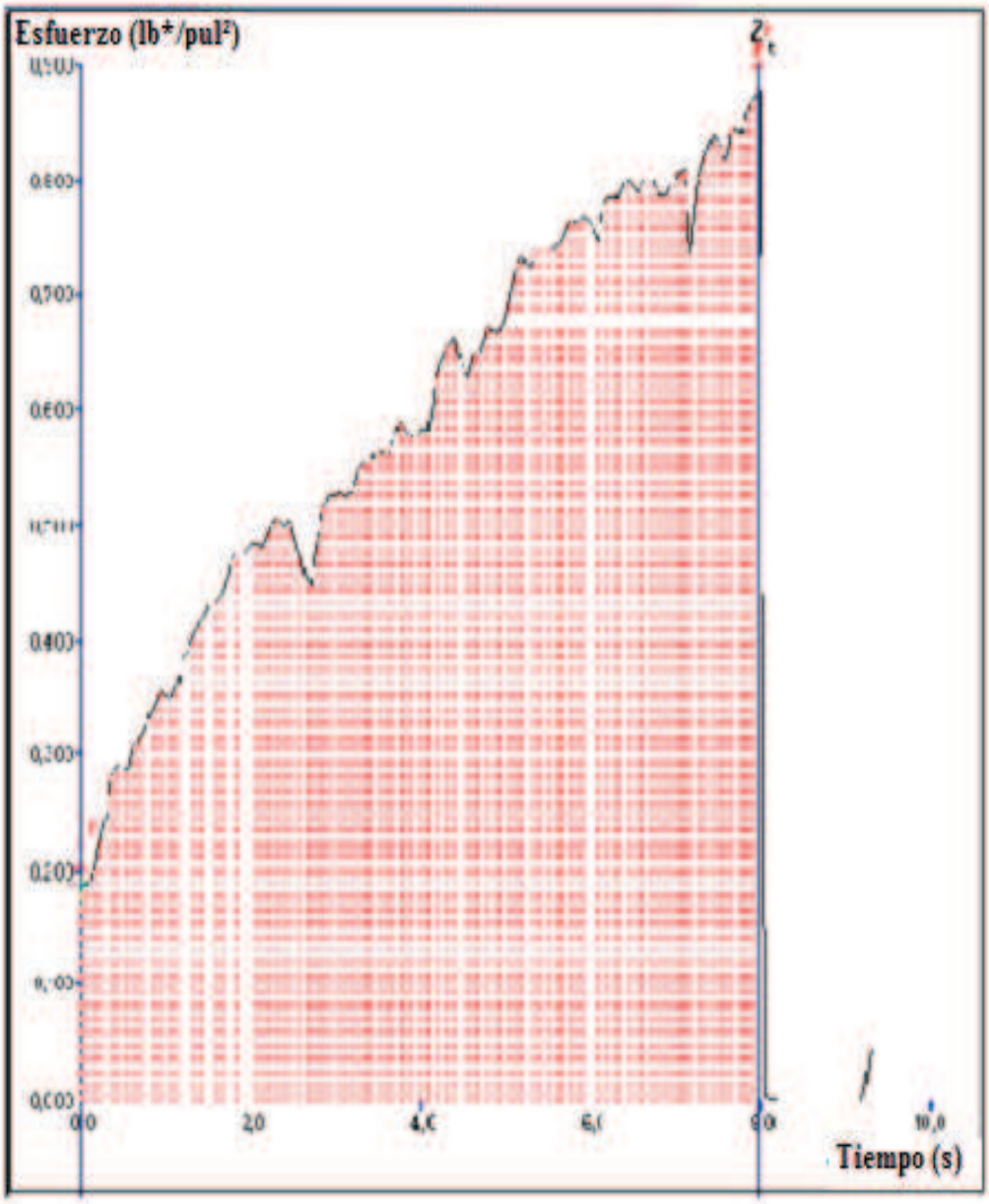

Figura AVI.3. Resultado de la primera determinación de la segunda réplica, en forma de tabla y gráfico reportado por el texturómetro del tratamiento a_0b_2 (miel de panela a 40 °Brix)

Parámetros	No	Valor	Unidades
Esfuerzo	1	0,2830	lb*/pul²
Esfuerzo	2	1,4350	lb*/pul²
Tiempo	1	7,9450	s
Área	1:2	6,9450	(lb*/pul²)·s

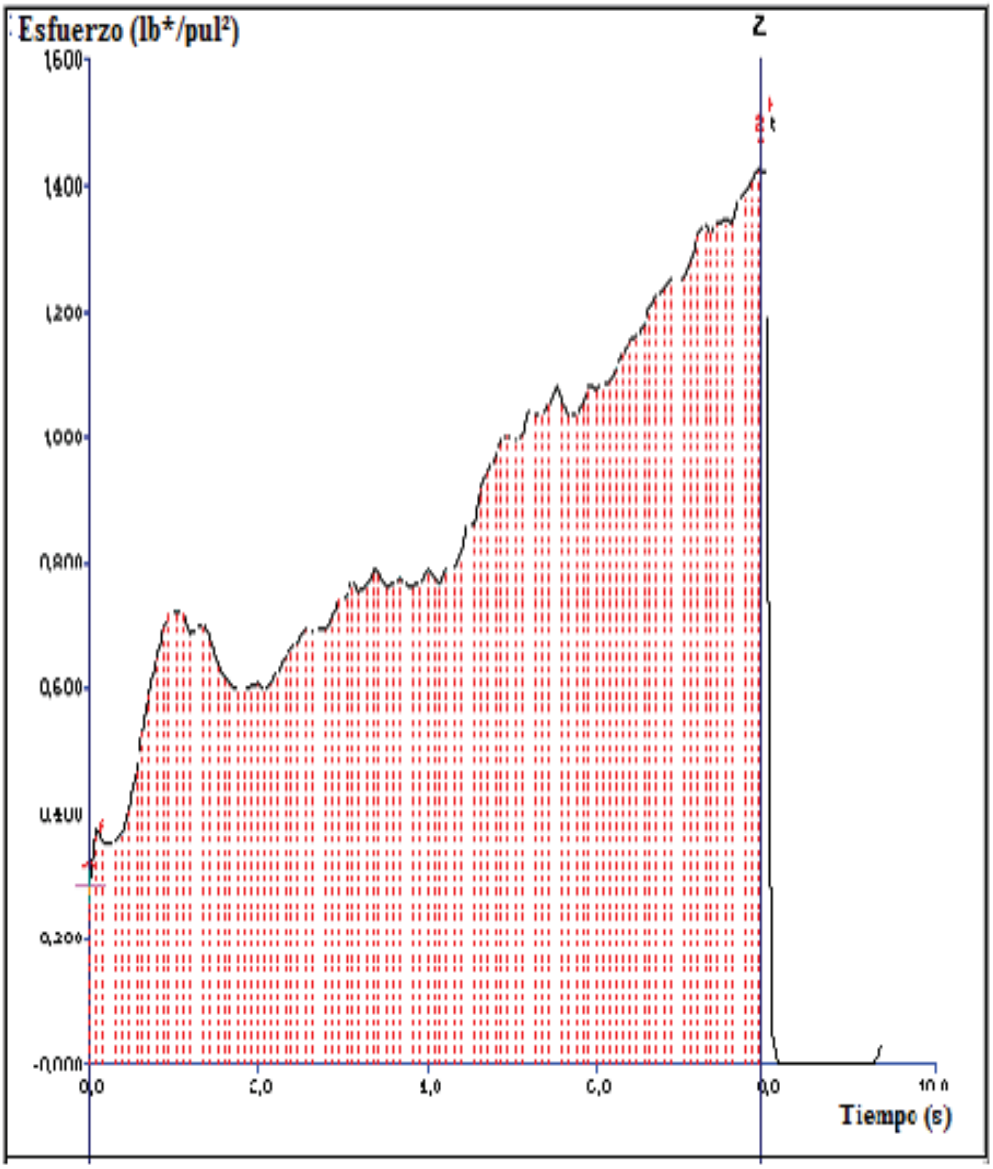

Figura AVI.4. Resultado de la quinta determinación de la segunda réplica, en forma de tabla y gráfico reportado por el texturómetro del tratamiento a_0b_3 (miel de panela a 60 °Brix)

Parámetros	No	Valor	Unidades
Esfuerzo	1	0,1690	lb*/pul²
Esfuerzo	2	0,7360	lb*/pul²
Tiempo	1	8,0000	s
Área	1:2	3,4920	(lb*/pul²)·s

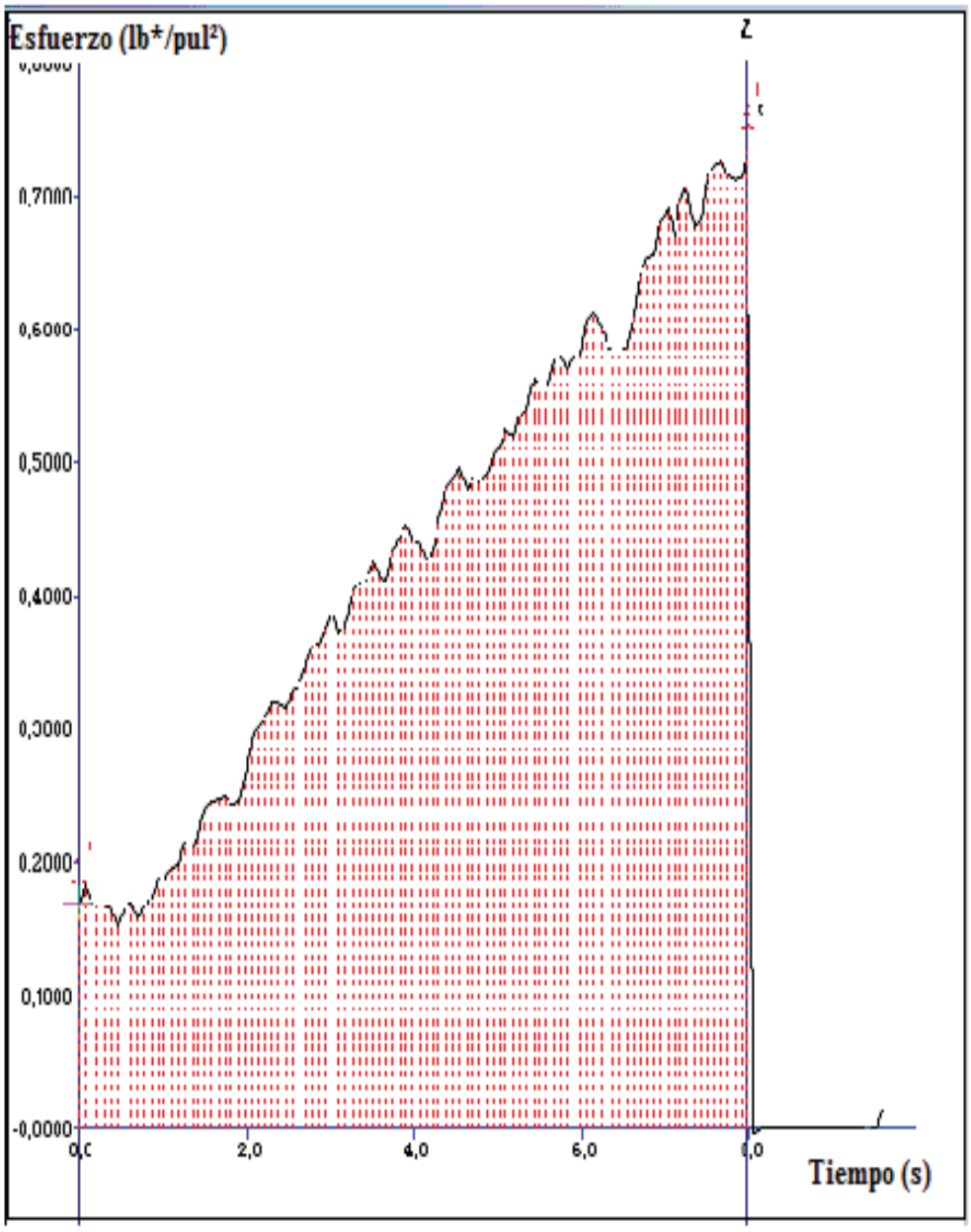

Figura AVI.5. Resultado de la primera determinación de la segunda réplica, en forma de tabla y gráfico reportado por el texturómetro del tratamiento a_1b_1 (jarabe de azúcar morena a 20ºBrix)

Parámetros	No	Valor	Unidades
Esfuerzo	1	0,2130	lb*/pul²
Esfuerzo	2	0,8330	lb*/pul²
Tiempo	1	7,9750	s
Área	1:2	4,3030	(lb*/pul²)·s

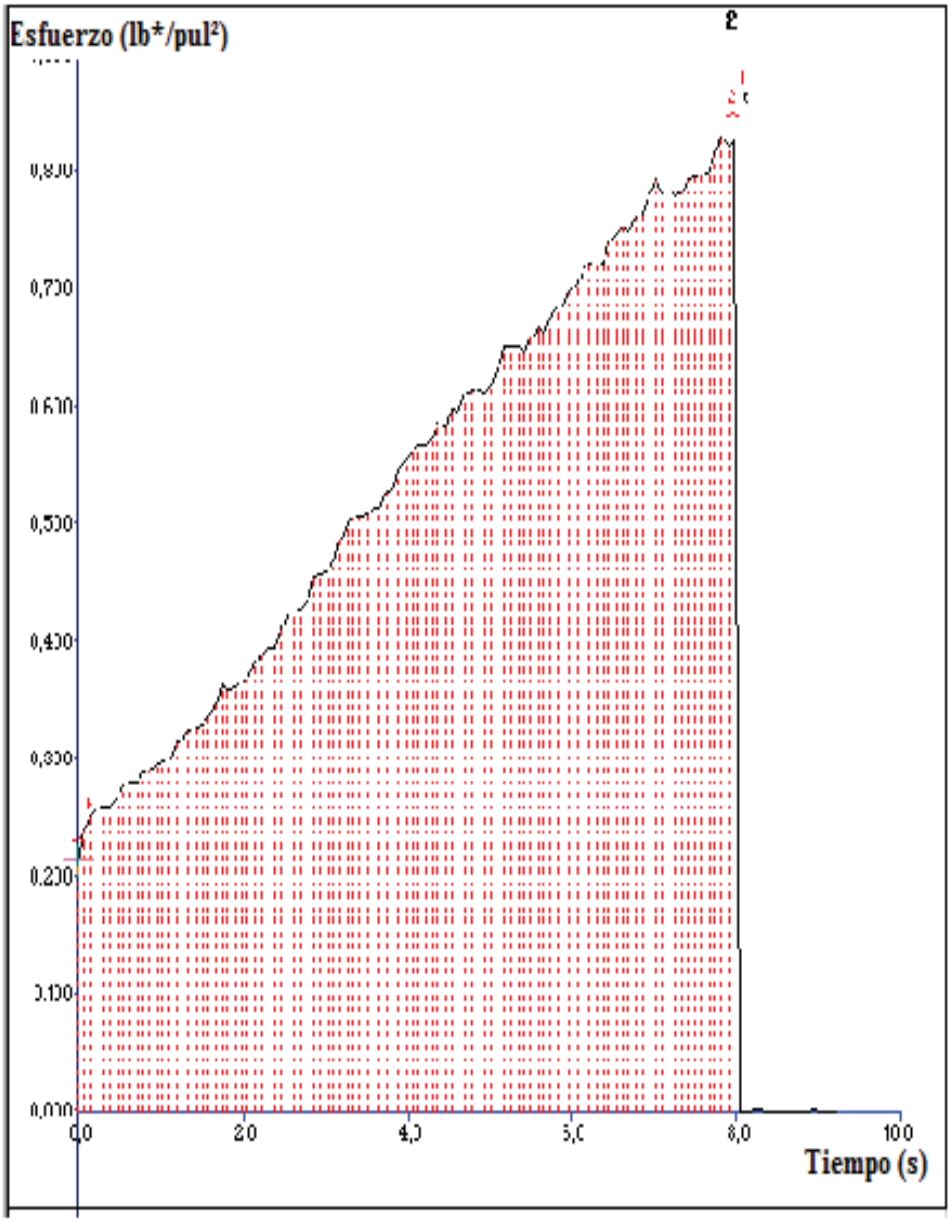

Figura AVI.6. Resultado de la tercera determinación de la tercera réplica, en forma de tabla y gráfico reportado por el texturómetro del tratamiento a_1b_1 (jarabe de azúcar morena a 40 °Brix)

Parámetros	No	Valor	Unidades
Esfuerzo	1	0,2990	lb*/pul²
Esfuerzo	2	1,1360	lb*/pul²
Tiempo	1	7,9500	s
Área	1:2	6,4370	(lb*/pul²)·s

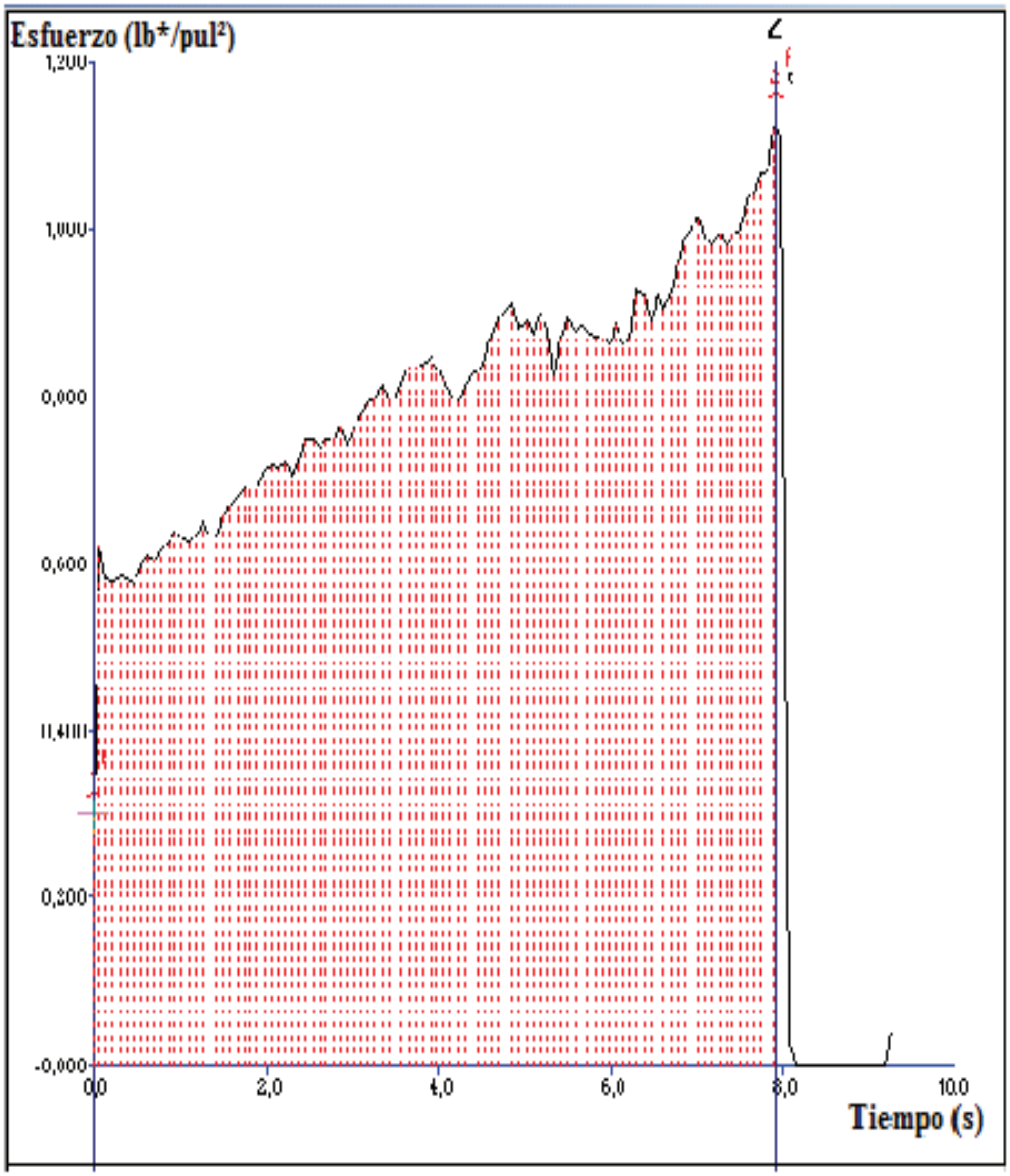

Figura AVI.7. Resultado de la primera determinación de la segunda réplica, en forma de tabla y gráfico reportado por el texturómetro del tratamiento a_1b_1 (jarabe de azúcar morena a 60 °Brix)

Parámetros	No	Valor	Unidades
Esfuerzo	1	0,1670	lb*/pul²
Esfuerzo	2	0,6890	lb*/pul²
Tiempo	1	7,9600	s
Área	1:2	2,9970	(lb*/pul²)·s

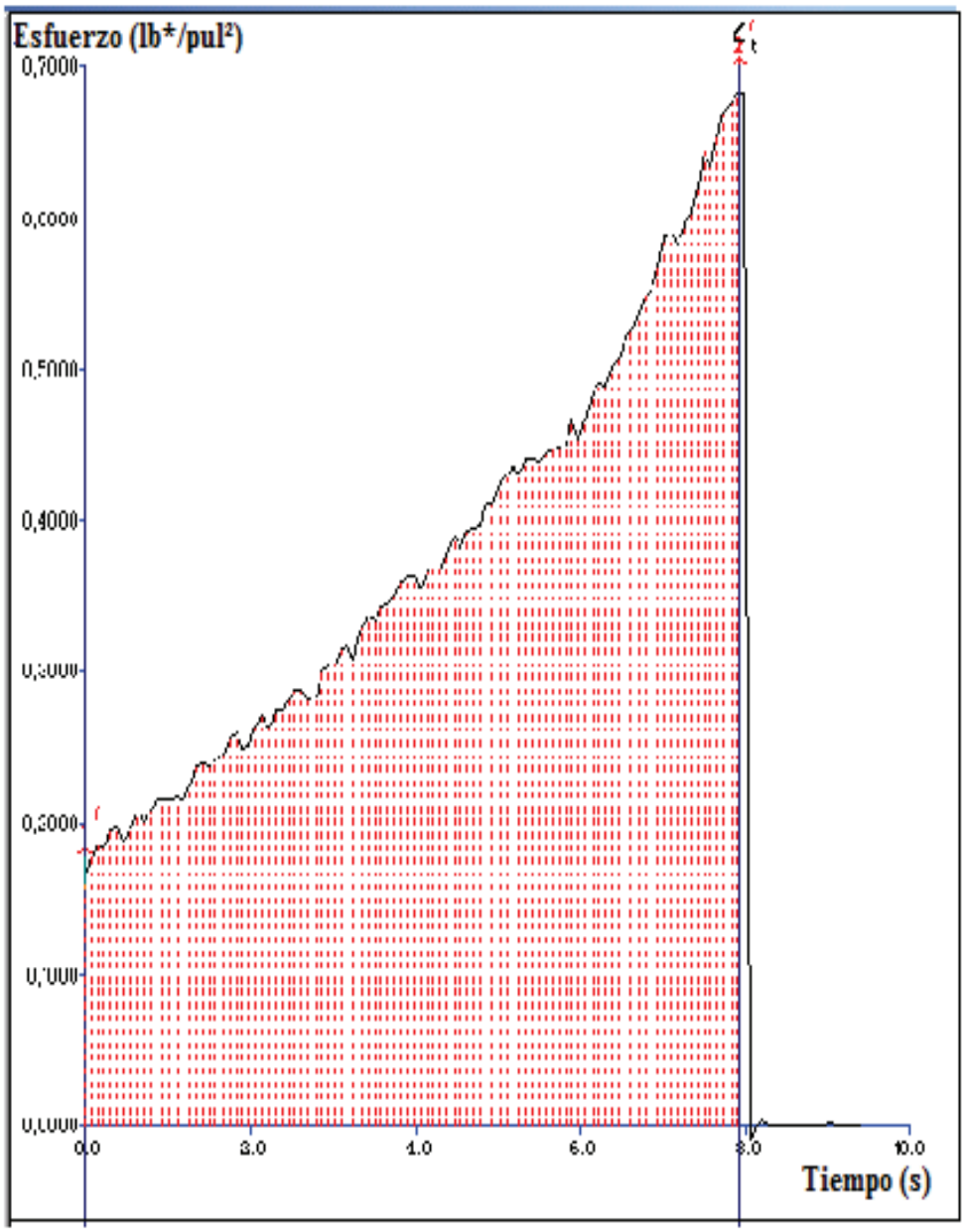

Figura AVI.8. Resultado de la segunda determinación de la segunda réplica, en forma de tabla y gráfico reportado por el texturómetro del tratamiento a_1b_1 (jarabe de azúcar blanca a 20 °Brix)

Parámetros	No	Valor	Unidades
Esfuerzo	1	0,2340	lb*/pul²
Esfuerzo	2	0,7640	lb*/pul²
Tiempo	1	7,9600	s
Área	1:2	4,0460	(lb*/pul²)·s

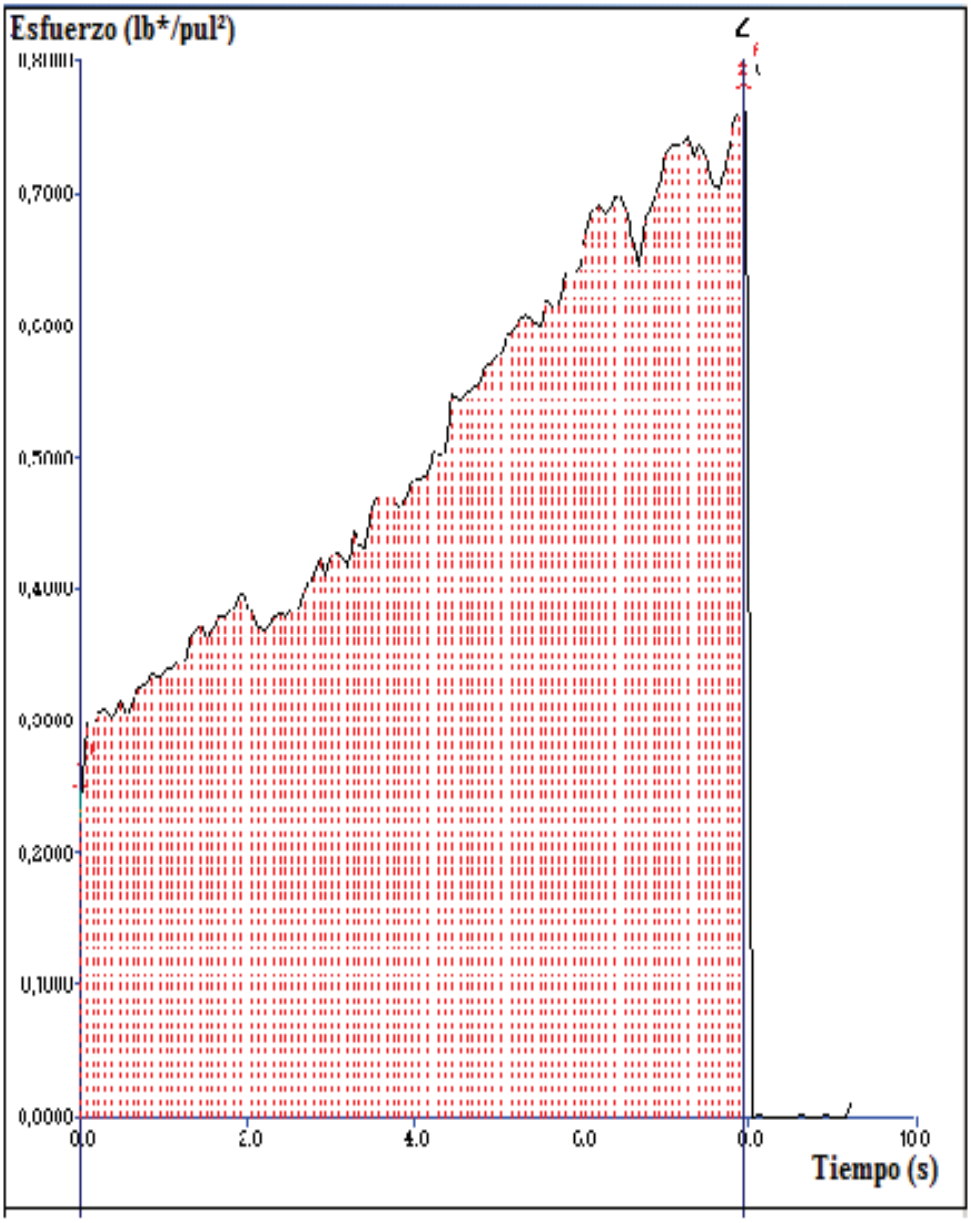

Figura AVI.9. Resultado de la quinta determinación de la primera réplica, en forma de tabla y gráfico reportado por el texturómetro del tratamiento a_1b_1 (jarabe de azúcar blanca a 40 °Brix)

Parámetros	No	Valor	Unidades
Esfuerzo	1	0,4030	lb*/pul²
Esfuerzo	2	1,1530	lb*/pul²
Tiempo	1	7,9300	s
Área	1:2	6,1060	(lb*/pul²)·s

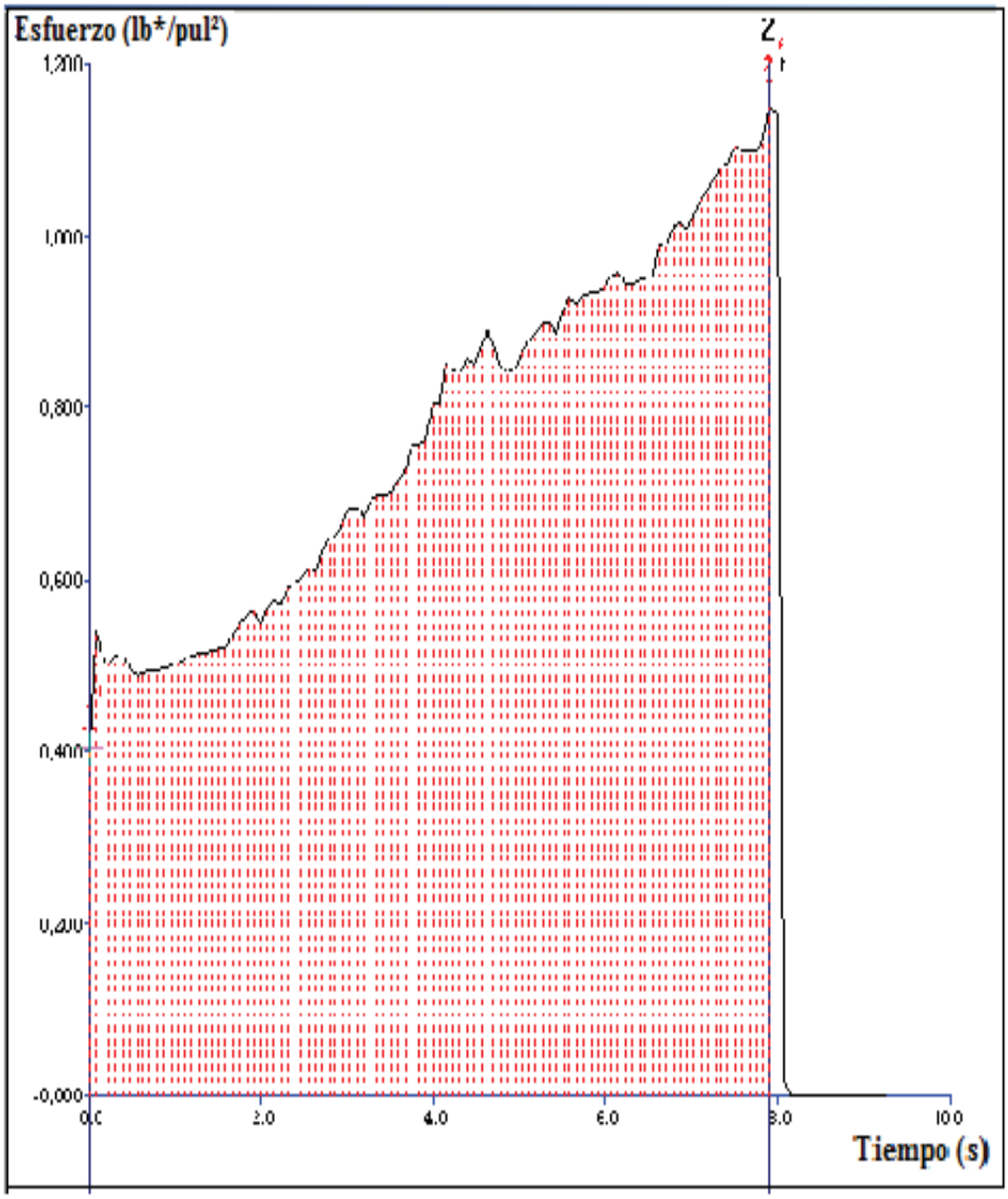

Figura AVI.10. Resultado de la cuarta determinación de la segunda réplica, en forma de tabla y gráfico reportado por el texturómetro del tratamiento a_1b_1 (jarabe de azúcar blanca a 60 °Brix)

ANEXO VII

DATOS DE LAS CINCO DETERMINACIONES POR RÉPLICA, REPORTADOS POR EL TEXTURÓMETRO TA-XT2i DE MIEL DE PANELA A DIFERENTES CONCENTRACIONES

Tabla AVII.1. Datos de las cinco determinaciones de miel de panela a 0 °Brix de la primera réplica reportados por el texturómetro TA-XT2i

TRATAMIENTO a_0b_0 (Miel de panela a 0 °Brix)				
Determinaciones No	**Presión Inicial (lb*/pul^2)**	**Presión Final (lb*/pul^2)**	**Tiempo (s)**	**Área (μ) (lb*/pul^2)·s**
1	0,1710	0,4490	8,0050	2,6260
2	0,1690	0,5260	7,5400	2,4970
3	0,1700	0,5290	7,7450	2,5680
4	0,1710	0,4520	8,0100	2,5430
5	0,1700	0,4980	8,0050	2,5600
Promedio	0,1702	0,4908	7,8610	2,5588
Desv	0,0008	0,0387	0,2122	0,0466
Cv	0,4916	7,8930	2,6998	1,8195

Tabla AVII.2. Datos de las cinco determinaciones de miel de panela a 20 °Brix de la primera réplica reportados por el texturómetro TA-XT2i

TRATAMIENTO a_0b_1 (Miel de panela a 20 °Brix)				
Determinaciones No	**Presión Inicial (lb*/pul^2)**	**Presión Final (lb*/pul^2)**	**Tiempo (s)**	**Área (μ) (lb*/pul^2)·s**
1	0,1730	0,7880	7,9150	3,4810
2	0,1690	0,8390	8,0000	3,6870
3	0,1710	0,8820	7,7800	3,8630
4	0,1810	0,9550	7,9800	3,8870
5	0,1700	0,9280	8,0000	3,8620
Promedio	0,1728	0,8784	7,9350	3,7560
Desv	0,0048	0,0672	0,0934	0,1734
Cv	2,7874	7,6507	1,1772	4,6159

Tabla AVII.3. Datos de las cinco determinaciones de miel de panela a 40 °Brix de la primera réplica reportados por el texturómetro TA-XT2i

TRATAMIENTO a_0b_2 (Miel de panela a 40 °Brix)				
Determinaciones No	**Presión Inicial (lb*/pul^2)**	**Presión Final (lb*/pul^2)**	**Tiempo (s)**	**Área (µ) (lb*/pul^2)·s**
1	0,2390	1,1400	7,8400	5,4320
2	0,2540	1,0900	7,6950	5,1070
3	0,2850	1,0950	7,4250	5,1570
4	0,2300	0,9770	7,6850	4,8450
5	0,2600	1,2380	7,6300	5,1590
Promedio	0,2536	1,1080	7,6550	5,1400
Desv	0,0212	0,0943	0,1502	0,2086
Cv	8,3583	8,5118	1,9622	4,0580

Tabla AVII.4. Datos de las cinco determinaciones de miel de panela a 60 °Brix de la primera réplica reportados por el texturómetro TA-XT2i

TRATAMIENTO a_0b_3 (Miel de panela a 60 °Brix)				
Determinaciones No	**Presión Inicial (lb*/pul^2)**	**Presión Final (lb*/pul^2)**	**Tiempo (s)**	**Área (µ) (lb*/pul^2)·s**
1	0,3810	1,4290	7,0450	6,9080
2	0,3730	1,1510	8,0050	7,2050
3	0,3670	1,3420	7,9050	6,5130
4	0,3750	1,1790	7,4450	6,8200
5	0,4630	1,1410	8,0050	7,2890
Promedio	0,3918	1,2484	7,6810	6,9470
Desv	0,0401	0,1296	0,4244	0,3121
Cv	10,2386	10,3836	5,5248	4,4921

Tabla AVII.5. Datos de las cinco determinaciones de miel de panela a 0 °Brix de la segunda réplica reportados por el texturómetro TA-XT2i

TRATAMIENTO a_0b_0 (Miel de panela a 0 °Brix)				
Determinaciones No	**Presión Inicial (lb*/pul^2)**	**Presión Final (lb*/pul^2)**	**Tiempo (s)**	**Área (µ) (lb*/pul^2)·s**
1	0,1690	0,4200	7,9350	2,3300
2	0,1700	0,3980	7,6700	2,2490

Tabla AVII.5. Datos de las cinco determinaciones de miel de panela a 0 °Brix de la segunda réplica reportados por el texturómetro TA-XT2i (Continuación…)

Determinaciones No	Presión Inicial (lb*/pul^2)	Presión Final (lb*/pul^2)	Tiempo (s)	Área (µ) (lb*/pul^2)·s
3	0,1680	0,4130	7,9500	2,3030
4	0,1690	0,3800	7,8300	2,1500
5	0,1680	0,3570	7,9800	2,0940
Promedio	0,1688	0,3936	7,8730	2,2252
Desv	0,0008	0,0256	0,1268	0,1006
Cv	0,4957	6,4988	1,6102	4,5203

Tabla AVII.6. Datos de las cinco determinaciones de miel de panela a 20 °Brix de la segunda réplica reportados por el texturómetro TA-XT2i

TRATAMIENTO a_0b_1 (Miel de panela a 20 °Brix)				
Determinaciones No	**Presión Inicial (lb*/pul^2)**	**Presión Final (lb*/pul^2)**	**Tiempo (s)**	**Área (µ) (lb*/pul^2)·s**
1	0,2260	0,6730	8,0050	3,9010
2	0,1720	0,7530	7,3150	3,7050
3	0,1960	0,7330	8,0050	3,8480
4	0,2050	0,7060	7,9700	3,9080
5	0,1870	0,7450	7,4500	3,7150
Promedio	0,1972	0,7220	7,7490	3,8154
Desv	0,0202	0,0327	0,3383	0,0990
Cv	10,2391	4,5242	4,3652	2,5957

Tabla AVII.7. Datos de las cinco determinaciones de miel de panela a 40 °Brix de la segunda réplica reportados por el texturómetro TA-XT2i

TRATAMIENTO a_0b_2 (Miel de panela a 40 °Brix)				
Determinaciones No	**Presión Inicial (lb*/pul^2)**	**Presión Final (lb*/pul^2)**	**Tiempo (s)**	**Área (µ) (lb*/pul^2)·s**
1	0,1830	0,8800	7,9950	4,7520
2	0,1690	0,9360	8,0050	4,5430
3	0,1690	0,8430	7,7700	3,9390
4	0,1690	0,7890	7,8550	4,4120
5	0,1700	0,9460	7,8000	4,5180

Tabla AVII.7. Datos de las cinco determinaciones de miel de panela a 40 °Brix de la segunda réplica reportados por el texturómetro TA-XT2i (Continuación…)

Determinaciones No	Presión Inicial (lb*/pul^2)	Presión Final (lb*/pul^2)	Tiempo (s)	Área (µ) (lb*/pul^2)·s
Promedio	0,1720	0,8788	7,8850	4,4328
Desv	0,0062	0,0654	0,1094	0,3023
Cv	3,5840	7,4477	1,3871	6,8190

Tabla AVII.8. Datos de las cinco determinaciones de miel de panela a 60 °Brix de la segunda réplica reportados por el texturómetro TA-XT2i

TRATAMIENTO a_0b_3 (Miel de panela a 60 °Brix)				
Determinaciones No	**Presión Inicial (lb*/pul^2)**	**Presión Final (lb*/pul^2)**	**Tiempo (s)**	**Área (µ) (lb*/pul^2)·s**
1	0,3160	1,6560	7,4300	7,0830
2	0,3050	1,3300	7,8750	6,9860
3	0,3060	1,6490	7,6500	7,1200
4	0,3270	1,3650	7,8550	7,0080
5	0,2830	1,4350	7,9450	6,9450
Promedio	0,3074	1,4870	7,7510	7,0284
Desv	0,0163	0,1558	0,2104	0,0717
Cv	5,2986	10,4746	2,7145	1,0196

Tabla AVII.9. Datos de las cinco determinaciones de miel de panela a 0 °Brix de la tercera réplica reportados por el texturómetro TA-XT2i

TRATAMIENTO a_0b_0 (Miel de panela a 0 °Brix)				
Determinaciones No	**Presión Inicial (lb*/pul^2)**	**Presión Final (lb*/pul^2)**	**Tiempo (s)**	**Área (µ) (lb*/pul^2)·s**
1	0,1670	0,4420	7,3300	2,4070
2	0,1700	0,4620	7,1200	2,3220
3	0,1680	0,4950	8,0100	2,3750
4	0,1680	0,4440	7,9000	2,4440
5	0,1670	0,4180	7,9600	2,3540
Promedio	0,1680	0,4522	7,6640	2,3804
Desv	0,0012	0,0286	0,4094	0,0471
Cv	0,7290	6,3217	5,3422	1,9804

Tabla AVII.10. Datos de las cinco determinaciones de miel de panela a 20 °Brix de la tercera réplica reportados por el texturómetro TA-XT2i

TRATAMIENTO a_0b_1 (Miel de panela a 20 °Brix)				
Determinaciones No	**Presión Inicial (lb*/pul^2)**	**Presión Final (lb*/pul^2)**	**Tiempo (s)**	**Área (μ) (lb*/pul^2)·s**
1	0,2120	0,6700	7,9700	3,8230
2	0,2050	0,7060	7,9700	3,9080
3	0,2230	0,6720	7,9400	3,4840
4	0,2190	0,6340	7,4350	3,7510
5	0,2330	0,7160	7,7700	3,8430
Promedio	0,2184	0,6796	7,8170	3,7618
Desv	0,0107	0,0326	0,2292	0,1651
Cv	4,8845	4,7970	2,9317	4,3883

Tabla AVII.11. Datos de las cinco determinaciones de miel de panela a 40 °Brix de la tercera réplica reportados por el texturómetro TA-XT2i

TRATAMIENTO a_0b_2 (Miel de panela a 40 °Brix)				
Determinaciones No	**Presión Inicial (lb*/pul^2)**	**Presión Final (lb*/pul^2)**	**Tiempo (s)**	**Área (μ) (lb*/pul^2)·s**
1	0,2480	0,9300	8,0000	4,8290
2	0,2560	0,8330	7,7750	4,8700
3	0,2050	0,9840	7,9000	4,5010
4	0,2070	1,0240	7,7600	4,7000
5	0,2210	1,0360	7,8200	5,0310
Promedio	0,2274	0,9614	7,8510	4,7862
Desv	0,0235	0,0829	0,0995	0,1985
Cv	10,3160	8,6193	1,2677	4,1466

Tabla AVII.12. Datos de las cinco determinaciones de miel de panela a 60 °Brix de la tercera réplica reportados por el texturómetro TA-XT2i

TRATAMIENTO a_0b_3 (Miel de panela a 60 °Brix)				
Determinaciones No	**Presión Inicial (lb*/pul^2)**	**Presión Final (lb*/pul^2)**	**Tiempo (s)**	**Área (μ) (lb*/pul^2)·s**
1	0,3890	1,4930	7,7500	6,9840
2	0,4210	1,5220	7,3400	6,9480

Tabla AVII.12. Datos de las cinco determinaciones de miel de panela a 60 °Brix de la tercera réplica reportados por el texturómetro TA-XT2i (Continuación…)

3	0,4180	1,2340	7,8650	6,9480
4	0,3870	1,5730	7,6750	6,7710
5	0,3280	1,5650	7,9500	6,8810
Promedio	0,3886	1,4774	7,7160	6,9064
Desv	0,0374	0,1399	0,2351	0,0844
Cv	9,6193	9,4694	3,0475	1,2214

ANEXO VIII

DATOS DE LAS CINCO DETERMINACIONES POR RÉPLICA, REPORTADOS POR EL TEXTURÓMETRO TA-XT2i DE JARABE DE AZÚCAR MORENA A DIFERENTES CONCENTRACIONES

Tabla AVIII.1. Datos de las cinco determinaciones de jarabe de azúcar morena a 0 °Brix de la primera réplica reportados por el texturómetro TA-XT2i

TRATAMIENTO a_1b_0 (Azúcar morena a 0 °Brix)				
Determinaciones No	**Presión Inicial (lb*/pul^2)**	**Presión Final (lb*/pul^2)**	**Tiempo (s)**	**Área (µ) (lb*/pul^2)·s**
1	0,1690	0,4660	6,7500	2,0410
2	0,1710	0,5580	7,7850	2,2290
3	0,1690	0.4870	7,3200	2,0730
4	0,1700	0,4870	7,2300	2,0720
5	0,1690	0,4590	7,8300	2,3480
Promedio	0,1696	0,4914	7,3830	2,1560
Desv	0,0009	0,0393	0,4443	0,1316
Cv	0,5274	7,9919	6,0174	6,1149

Tabla AVIII.2. Datos de las cinco determinaciones de jarabe de azúcar morena a 20 °Brix de la primera réplica reportados por el texturómetro TA-XT2i

TRATAMIENTO a_1b_1 (Azúcar morena a 20 °Brix)				
Determinaciones No	**Presión Inicial (lb*/pul^2)**	**Presión Final (lb*/pul^2)**	**Tiempo (s)**	**Área (µ) (lb*/pul^2)·s**
1	0,1710	0,6860	7,6250	3,1510
2	0,1680	0,6750	7,8500	3,1130
3	0,1740	0,7210	8,0050	3,7810
4	0,1660	0,8210	7,0550	3,5360
5	0,1700	0,7960	7,8000	3,6300
Promedio	0,1698	0,7398	7,6670	3,4422
Desv	0,0030	0,0656	0,3680	0,2967
Cv	1,7863	8,8635	4,7999	8,6183

Tabla AVIII.3. Datos de las cinco determinaciones de jarabe de azúcar morena a 40 °Brix de la primera réplica reportados por el texturómetro TA-XT2i

TRATAMIENTO a_1b_2 (Azúcar morena a 40 °Brix)				
Determinaciones No	**Presión Inicial (lb*/pul^2)**	**Presión Final (lb*/pul^2)**	**Tiempo (s)**	**Área (µ) (lb*/pul^2)·s**
1	0,1720	1,2890	7,5200	5,0160
2	0,1740	1,1560	7,7950	4,5950
3	0,1670	1,0870	7,8250	4,5240
4	0,1690	1,0370	8,0050	4,2730
5	0,1710	1,0470	8,0050	4,8130
Promedio	0,1706	1,1232	7,8300	4,6442
Desv	0,0027	0,1038	0,1991	0,2835
Cv	1,5837	9,2431	2,5431	6,1034

Tabla AVIII.4. Datos de las cinco determinaciones de jarabe de azúcar morena a 60 °Brix de la primera réplica reportados por el texturómetro TA-XT2i

TRATAMIENTO a_1b_3 (Azúcar morena a 60 °Brix)				
Determinaciones No	**Presión Inicial (lb*/pul^2)**	**Presión Final (lb*/pul^2)**	**Tiempo (s)**	**Área (µ) (lb*/pul^2)·s**
1	0,2620	1,3200	8,0050	6,5020
2	0,3040	1,1840	7,9350	6,6360
3	0,2770	1,4800	7,0950	6,3480
4	0,2970	1,2330	7,4450	6,5140
5	0,2910	1,2170	7,9750	6,5070
Promedio	0,2862	1,2868	7,6910	6,5014
Desv	0,0168	0,1191	0,4045	0,1023
Cv	5,8644	9,2574	5,2596	1,5731

Tabla AVIII.5. Datos de las cinco determinaciones de jarabe de azúcar morena a 0 °Brix de la segunda réplica reportados por el texturómetro TA-XT2i

TRATAMIENTO a_1b_0 (Azúcar morena a 0 °Brix)				
Determinaciones No	**Presión Inicial (lb*/pul^2)**	**Presión Final (lb*/pul^2)**	**Tiempo (s)**	**Área (µ) (lb*/pul^2)·s**
1	0,1680	0,4500	7,7100	2,2930
2	0,1650	0,4730	7,7950	2,3560

Tabla AVIII.5. Datos de las cinco determinaciones de jarabe de azúcar morena a 0 °Brix de la segunda réplica reportados por el texturómetro TA-XT2i (Continuación…)

Determinaciones No	Presión Inicial (lb*/pul^2)	Presión Final (lb*/pul^2)	Tiempo (s)	Área (μ) (lb*/pul^2)·s
3	0,1700	0,4910	7,1450	2,4540
4	0,1700	0,4280	7,9550	2,2510
5	0,1680	0,4640	7,3950	2,2580
Promedio	0,1682	0,4612	7,6000	2,3224
Desv	0,0020	0,0238	0,3260	0,0845
Cv	1,2184	5,1571	4,2900	3,6382

Tabla AVIII.6. Datos de las cinco determinaciones de jarabe de azúcar morena a 20 °Brix de la segunda réplica reportados por el texturómetro TA-XT2i

TRATAMIENTO a_1b_1 (Azúcar morena a 20 °Brix)				
Determinaciones No	**Presión Inicial (lb*/pul^2)**	**Presión Final (lb*/pul^2)**	**Tiempo (s)**	**Área (μ) (lb*/pul^2)·s**
1	0,1690	0,7360	8,0000	3,4920
2	0,1680	0,7820	8,0050	3,0000
3	0,1690	0,8690	7,9650	3,5570
4	0,1680	0,7950	7,5300	3,5510
5	0,1680	7,7930	7,9750	3,5750
Promedio	0,1684	0,7950	7,8950	3,4350
Desv	0,0005	0,0478	0,2047	0,2452
Cv	0,3253	6,0095	2,5931	7,1371

Tabla AVIII.7. Datos de las cinco determinaciones de jarabe de azúcar morena a 40 °Brix de la segunda réplica reportados por el texturómetro TA-XT2i

TRATAMIENTO a_1b_2 (Azúcar morena a 40 °Brix)				
Determinaciones No	**Presión Inicial (lb*/pul^2)**	**Presión Final (lb*/pul^2)**	**Tiempo (s)**	**Área (μ) (lb*/pul^2)·s**
1	0,2110	0,8600	8,0050	4,3340
2	0,2490	0,9180	7,7200	4,4130
3	0,2380	0,8200	7,9150	4,3330
4	0,2000	0,8210	8,0050	4,1310
5	0,2130	0,9000	8,0050	4,3220

Tabla AVIII.7. Datos de las cinco determinaciones de jarabe de azúcar morena a 40 °Brix de la segunda réplica reportados por el texturómetro TA-XT2i (Continuación…)

Determinaciones No	Presión Inicial (lb*/pul^2)	Presión Final (lb*/pul^2)	Tiempo (s)	Área (μ) (lb*/pul^2)·s
Promedio	0,2222	0,8638	7,9300	4,3066
Desv	0,0204	0,0448	0,1237	0,1047
Cv	9,1970	5,1814	1,5598	2,4310

Tabla AVIII.8. Datos de las cinco determinaciones de jarabe de azúcar morena a 60 °Brix de la segunda réplica reportados por el texturómetro TA-XT2i

TRATAMIENTO a_1b_3 (Azúcar morena a 60 °Brix)				
Determinaciones No	**Presión Inicial (lb*/pul^2)**	**Presión Final (lb*/pul^2)**	**Tiempo (s)**	**Área (μ) (lb*/pul^2)·s**
1	0,2990	1,1360	7,9500	6,4370
2	0,3470	1,1570	7,6800	6,5740
3	0,3640	1,0220	7,8900	6,5290
4	0,3130	1,3000	7,0750	6,4880
5	0,3500	1,2640	7,8950	6,6510
Promedio	0,3346	1,1758	7,6980	6,5358
Desv	0,0273	0,1104	0,3632	0,0819
Cv	8,1700	9,3936	4,7180	1,2529

Tabla AVIII.9. Datos de las cinco determinaciones de jarabe de azúcar morena a 0 °Brix de la tercera réplica reportados por el texturómetro TA-XT2i

TRATAMIENTO a_1b_0 (Azúcar morena a 0 °Brix)				
Determinaciones No	**Presión Inicial (lb*/pul^2)**	**Presión Final (lb*/pul^2)**	**Tiempo (s)**	**Área (μ) (lb*/pul^2)·s**
1	0,1700	0,4660	6,8300	2,2420
2	0,1710	0,4410	7,7200	2,1610
3	0,1690	0,4110	7,7500	2,1510
4	0,1790	0,4380	7,8800	2,3530
5	0,1670	0,4100	7,7150	2,1380
Promedio	0,1712	0,4332	7,5790	2,2090
Desv	0,0046	0,0234	0,4240	0,0902
Cv	2,6895	5,4024	5,5949	4,0827

Tabla AVIII.10. Datos de las cinco determinaciones de jarabe de azúcar morena a 20 °Brix de la tercera réplica reportados por el texturómetro TA-XT2i

TRATAMIENTO a_1b_1 (Azúcar morena a 20 °Brix)				
Determinaciones No	**Presión Inicial (lb*/pul^2)**	**Presión Final (lb*/pul^2)**	**Tiempo (s)**	**Área (µ) (lb*/pul^2)·s**
1	0,1740	0,7130	7,8500	3,3550
2	0,1680	0,6070	7,9450	3,4900
3	0,2150	0,6320	7,9000	3,4500
4	0,1820	0,7400	7,8600	3,4400
5	0,1870	0,7240	7,7200	3,5720
Promedio	0,1852	0,6832	7,8550	3,4614
Desv	0,0182	0,0596	0,0843	0,0790
Cv	9,8192	8,7231	1,0727	2,2821

Tabla AVIII.11. Datos de las cinco determinaciones de jarabe de azúcar morena a 40 °Brix de la tercera réplica reportados por el texturómetro TA-XT2i

TRATAMIENTO a_1b_2 (Azúcar morena a 40 °Brix)				
Determinaciones No	**Presión Inicial (lb*/pul^2)**	**Presión Final (lb*/pul^2)**	**Tiempo (s)**	**Área (µ) (lb*/pul^2)·s**
1	0,2480	1,0180	7,9050	4,7830
2	0,2350	0,8330	7,9900	4,4930
3	0,2130	0,8330	7,9750	4,3030
4	0,2060	0,9370	8,0050	4,3800
5	0,2550	0,9140	7,5250	4,7410
Promedio	0,2314	0,9070	7,8800	4,5400
Desv	0,0214	0,0778	0,2021	0,2141
Cv	9,2414	8,5796	2,5649	4,7168

Tabla AVIII.12. Datos de las cinco determinaciones de jarabe de azúcar morena a 60 °Brix de la tercera réplica reportados por el texturómetro TA-XT2i

TRATAMIENTO a_1b_3 (Azúcar morena a 60 °Brix)				
Determinaciones No	**Presión Inicial (lb*/pul^2)**	**Presión Final (lb*/pul^2)**	**Tiempo (s)**	**Área (µ) (lb*/pul^2)·s**
1	0,3790	1,3550	7,1800	6,4160
2	0,3980	1,4380	7,9650	6,7280

Tabla AVIII.12. Datos de las cinco determinaciones de jarabe de azúcar morena a 60 °Brix de la tercera réplica reportados por el texturómetro TA-XT2i (Continuación…)

Determinaciones No	**Presión Inicial (lb*/pul^2)**	**Presión Final (lb*/pul^2)**	**Tiempo (s)**	**Área (µ) (lb*/pul^2)·s**
3	0,3070	1,4220	7,4750	6,3170
4	0,3920	1,5750	7,7600	6,4910
5	0,3740	1,4260	7,7400	6,0230
Promedio	0,3700	1,4432	7,6240	6,3950
Desv	0,0365	0,0805	0,3031	0,2574
Cv	9,8695	5,5781	3,9761	4,0250

ANEXO IX

DATOS DE LAS CINCO DETERMINACIONES POR RÉPLICA, REPORTADOS POR EL TEXTURÓMETRO TA-XT2i DE JARABE DE AZÚCAR BLANCA A DIFERENTES CONCENTRACIONES

Tabla AIX.1. Datos de las cinco determinaciones de jarabe de azúcar blanca a 0 °Brix de la primera réplica reportados por el texturómetro TA-XT2i

TRATAMIENTO a_2b_0 (Azúcar blanca a 0 °Brix)				
Determinaciones No	**Presión Inicial (lb*/pul^2)**	**Presión Final (lb*/pul^2)**	**Tiempo (s)**	**Área (μ) (lb*/pul^2)·s**
1	0,1710	0,6270	7,8100	2,9930
2	0,1710	0,5180	8,0050	2,6450
3	0,1690	0,4890	7,8600	2,3720
4	0,1700	0,5510	7,3500	2,8020
5	0,1720	0,5300	7,6800	2,7200
Promedio	0,1702	0,5430	7,7410	2,7064
Desv	0,0019	0,0520	0,2476	0,2275
Cv	1,1302	9,5826	3,1985	8,4067

Tabla AIX.2. Datos de las cinco determinaciones de jarabe de azúcar blanca a 20 °Brix de la primera réplica reportados por el texturómetro TA-XT2i

TRATAMIENTO a_2b_1 (Azúcar blanca a 20 °Brix)				
Determinaciones No	**Presión Inicial (lb*/pul^2)**	**Presión Final (lb*/pul^2)**	**Tiempo (s)**	**Área (μ) (lb*/pul^2)·s**
1	0,1720	0,5840	7,5850	3,1370
2	0,1810	0,6520	8,0050	3,2590
3	0,1680	0,5570	7,7400	2,9050
4	0,1710	0,5930	7,4200	3,0370
5	0,1690	0,5880	7,8850	2,9590
Promedio	0,1722	0,5948	0,7270	3,0594
Desv	0,0052	0,0349	0,2328	0,1417
Cv	3,0007	5,8644	3,0131	4,6307

Tabla AIX.3. Datos de las cinco determinaciones de jarabe de azúcar blanca a 40 °Brix de la primera réplica reportados por el texturómetro TA-XT2i

TRATAMIENTO a_2b_2 (Azúcar blanca a 40 °Brix)				
Determinaciones No	**Presión Inicial (lb*/pul^2)**	**Presión Final (lb*/pul^2)**	**Tiempo (s)**	**Área (µ) (lb*/pul^2)·s**
1	0,2100	0,8990	7,9050	4,1800
2	0,2020	0,7670	7,9300	4,0540
3	0,2220	0,8190	7,8350	4,0340
4	0,2230	0,8020	7,8600	4,1810
5	0,2340	0,7640	7,9600	4,0460
Promedio	0,2182	0,8102	7,8980	4,0990
Desv	0,0124	0,0548	0,0508	0,0747
Cv	5,9610	6,7690	0,6434	1,8234

Tabla AIX.4. Datos de las cinco determinaciones de jarabe de azúcar blanca a 60 °Brix de la primera réplica reportados por el texturómetro TA-XT2i

TRATAMIENTO a_2b_3 (Azúcar blanca a 60 °Brix)				
Determinaciones No	**Presión Inicial (lb*/pul^2)**	**Presión Final (lb*/pul^2)**	**Tiempo (s)**	**Área (µ) (lb*/pul^2)·s**
1	0,3450	1,0870	7,7550	6,0170
2	0,3310	1,2940	7,7150	6,2800
3	0,3000	1,1880	7,7000	6,2450
4	0,3070	1,0720	7,9150	5,9010
5	0,3200	1,1940	7,7800	6,2140
Promedio	0,3206	1,1670	7,7730	6,1314
Desv	0,0181	0,0904	0,0855	0,1643
Cv	5,6516	7,7505	1,0998	2,6797

Tabla AIX.5. Datos de las cinco determinaciones de jarabe de azúcar blanca a 0 °Brix de la segunda réplica reportados por el texturómetro TA-XT2i

TRATAMIENTO a_2b_0 (Azúcar blanca a 0 °Brix)				
Determinaciones No	**Presión Inicial (lb*/pul^2)**	**Presión Final (lb*/pul^2)**	**Tiempo (s)**	**Área (µ) (lb*/pul^2)·s**
1	0,1680	0,4930	6,6100	2,3370
2	0,1690	0,4920	7,9850	2,1040

Tabla AIX.5. Datos de las cinco determinaciones de jarabe de azúcar blanca a 0 °Brix de la segunda réplica reportados por el texturómetro TA-XT2i (Continuación…)

Determinaciones No	Presión Inicial (lb*/pul^2)	Presión Final (lb*/pul^2)	Tiempo (s)	Área (µ) (lb*/pul^2)·s
3	0,1690	0,4130	8,0000	2,3920
4	0,1700	0,4790	7,9350	2,5320
5	0,1690	0,4200	7,8850	2,4950
Promedio	0,1690	0,4594	7,6830	2,3720
Desv	0,0007	0,0396	0,6015	0,1690
Cv	0,4184	8,6258	7,8293	7,1227

Tabla AIX.6. Datos de las cinco determinaciones de jarabe de azúcar blanca a 20 °Brix de la segunda réplica reportados por el texturómetro TA-XT2i

TRATAMIENTO a_2b_1 (Azúcar blanca a 20 °Brix)				
Determinaciones No	**Presión Inicial (lb*/pul^2)**	**Presión Final (lb*/pul^2)**	**Tiempo (s)**	**Área (µ) (lb*/pul^2)·s**
1	0,1770	0,6110	7,8700	2,9190
2	0,1670	0,6890	7,9600	2,9970
3	0,1800	0,5460	7,8850	3,0350
4	0,1690	0,5790	7,9250	3,0330
5	0,1690	0,6390	7,8200	2,9040
Promedio	0,1724	0,6128	7,8920	2,9776
Desv	0,0057	0,0550	0,0535	0,0624
Cv	3,3220	8,9750	0,6773	2,0967

Tabla AIX.7. Datos de las cinco determinaciones de jarabe de azúcar blanca a 40 °Brix de la segunda réplica reportados por el texturómetro TA-XT2i

TRATAMIENTO a_2b_2 (Azúcar blanca a 40 °Brix)				
Determinaciones No	**Presión Inicial (lb*/pul^2)**	**Presión Final (lb*/pul^2)**	**Tiempo (s)**	**Área (µ) (lb*/pul^2)·s**
1	0,2200	0,8430	7,5350	4,1110
2	0,2260	0,9130	7,5400	4,6360
3	0,1820	1,0110	8,0100	4,3340
4	0,2140	0,8660	7,8250	3,9920
5	0,2250	0,7900	8,0100	3,9690

Tabla AIX.7. Datos de las cinco determinaciones de jarabe de azúcar blanca a 40 °Brix de la segunda réplica reportados por el texturómetro TA-XT2i (Continuación…)

Determinaciones No	Presión Inicial (lb*/pul^2)	Presión Final (lb*/pul^2)	Tiempo (s)	Área (µ) (lb*/pul^2)·s
Promedio	0,2134	0,8846	7,7840	4,2084
Desv	0,0182	0,0834	0,2374	0,2794
Cv	8,5229	9,4258	3,0494	6,6390

Tabla AIX.8. Datos de las cinco determinaciones de jarabe de azúcar blanca a 60 °Brix de la segunda réplica reportados por el texturómetro TA-XT2i

TRATAMIENTO a_2b_3 (Azúcar blanca a 60 °Brix)				
Determinaciones No	**Presión Inicial (lb*/pul^2)**	**Presión Final (lb*/pul^2)**	**Tiempo (s)**	**Área (µ) (lb*/pul^2)·s**
1	0,4030	1,1190	7,9150	5,9220
2	0,3510	1,1130	7,9000	6,2010
3	0,3610	1,1380	7,8250	6,2920
4	0,4030	1,1530	7,9300	6,1060
5	0,4170	1,3000	7,3700	5,8670
Promedio	0,3870	1,1646	7,7880	6,0776
Desv	0,0291	0,0773	0,2371	0,1807
Cv	7,5158	6,6397	3,0449	2,9727

Tabla AIX.9. Datos de las cinco determinaciones de jarabe de azúcar blanca a 0 °Brix de la tercera réplica reportados por el texturómetro TA-XT2i

TRATAMIENTO a_2b_0 (Azúcar blanca a 0 °Brix)				
Determinaciones No	**Presión Inicial (lb*/pul^2)**	**Presión Final (lb*/pul^2)**	**Tiempo (s)**	**Área (µ) (lb*/pul^2)·s**
1	0,1650	0,5680	8,0050	2,8360
2	0,1720	0,5240	7,8900	2,7240
3	0,1670	0,4650	7,3400	2,6120
4	0,1990	0,4850	7,3550	2,7590
5	0,1700	0,4480	7,9250	2,5970
Promedio	0,1746	0,4980	7,7030	2,7056
Desv	0,0139	0,0483	0,3272	0,1009
Cv	7,9629	9,7001	4,2481	3,7305

Tabla AIX.10. Datos de las cinco determinaciones de jarabe de azúcar blanca a 20 °Brix de la tercera réplica reportados por el texturómetro TA-XT2i

TRATAMIENTO a_2b_1 (Azúcar blanca a 20 °Brix)				
Determinaciones No	**Presión Inicial (lb*/pul^2)**	**Presión Final (lb*/pul^2)**	**Tiempo (s)**	**Área (µ) (lb*/pul^2)·s**
1	0,1700	0,5890	8,0000	2,9200
2	0,1680	0,6340	7,8750	3,1640
3	0,1700	0,5940	8,0050	3,1190
4	0,1700	0,6700	8,0100	3,0870
5	0,1690	0,7250	7,9400	3,2300
Promedio	0,1694	0,6424	7,9660	3,1040
Desv	0,0009	0,0567	0,0582	0,1160
Cv	0,5280	8,8227	0,7312	3,7379

Tabla AIX.11. Datos de las cinco determinaciones de jarabe de azúcar blanca a 40 °Brix de la tercera réplica reportados por el texturómetro TA-XT2i

TRATAMIENTO a_2b_2 (Azúcar blanca a 40 °Brix)				
Determinaciones No	**Presión Inicial (lb*/pul^2)**	**Presión Final (lb*/pul^2)**	**Tiempo (s)**	**Área (µ) (lb*/pul^2)·s**
1	0,2970	0,8380	7,4000	4,0420
2	0,2910	0,7630	7,7800	4,1080
3	0,2800	0,8080	7,2700	4,1520
4	0,2910	0,9070	6,9700	4,3360
5	0,2410	0,7680	7,3700	4,0940
Promedio	0,2800	0,8168	7,3580	4,1464
Desv	0,0256	0,0590	0,2908	0,1130
Cv	8,0891	7,2271	3,9523	2,7259

Tabla AIX.12. Datos de las cinco determinaciones de jarabe de azúcar blanca a 60 °Brix de la tercera réplica reportados por el texturómetro TA-XT2i

TRATAMIENTO a_2b_3 (Azúcar blanca a 60 °Brix)				
Determinaciones No	**Presión Inicial (lb*/pul^2)**	**Presión Final (lb*/pul^2)**	**Tiempo (s)**	**Área (µ) (lb*/pul^2)·s**
1	0,2830	1,1280	7,9450	5,8430
2	0,2940	0,9730	7,8650	5,8790

Tabla AVIII.12. Datos de las cinco determinaciones de jarabe de azúcar blanca a 60 °Brix de la tercera réplica reportados por el texturómetro TA-XT2i (Continuación…)

Determinaciones No	**Presión Inicial (lb*/pul^2)**	**Presión Final (lb*/pul^2)**	**Tiempo (s)**	**Área (µ) (lb*/pul^2)·s**
3	0,2800	1,0970	8,0100	6,1670
4	0,3110	1,1370	7,9000	6,2470
5	0,3140	1,1470	7,7250	6,1270
Promedio	0,2964	1,0964	7,8890	6,0526
Desv	0,0156	0,0715	0,1065	0,1806
Cv	5,2733	6,5191	1,3500	2,9840

ANEXO X
VALORES POR RÉPLICA DE LOS PROMEDIOS CORRESPONDIENTES A LAS CINCO DETERMINACIONES DE MIEL DE PANELA Y JARABES DE AZÚCAR A DIFERENTE CONCENTRACIÓN

Tabla AX.1. Valores por réplica de los promedios correspondientes a las cinco determinaciones de miel de panela a diferente concentración

Tratamientos	Réplica	Presión Inicial (lb^*/pul^2)	Presión Final (lb^*/pul^2)	Tiempo (s)	Área (µ) (lb^*/pul^2)·s
Miel de panela a 0 °Brix	1	0,1702	0,4908	7,8610	2,5588
	2	0,1688	0,3936	7,8730	2,2252
	3	0,1680	0,4522	7,6640	2,3804
	Promedio	**0,1690**	**0,4455**	**7,7993**	**2,3881**
Miel de panela a 20 °Brix	1	0,1728	0,8784	7,9350	3,7560
	2	0,1972	0,7220	7,7490	3,8154
	3	0,2184	0,6796	7,8170	3,7618
	Promedio	**0,1961**	**0,7600**	**7,8337**	**3,7777**
Miel de panela a 40 °Brix	1	0,2536	1,1080	7,6550	5,1400
	2	0,1720	0,8788	7,8850	4,4328
	3	0,2274	0,9614	7,8510	4,7862
	Promedio	**0,2177**	**0,9827**	**7,7970**	**4,7863**
Miel de panela a 60 °Brix	1	0,3915	1,2484	7,6810	6,9470
	2	0,3074	1,4870	7,7510	7,0284
	3	0,3886	1,4774	7,6170	6,9064
	Promedio	**0,3626**	**1,4043**	**7,6170**	**6,9606**

Tabla AX.2. Valores por réplica de los promedios correspondientes a las cinco determinaciones de jarabe de azúcar morena a diferente concentración

Tratamientos	Réplica	Presión Inicial (lb^*/pul^2)	Presión Final (lb^*/pul^2)	Tiempo (s)	Área (µ) (lb^*/pul^2)·s
Jarabe de azúcar morena a 0 °Brix	1	0,1686	0,4914	7,3830	2,1526
	2	0,1682	0,4612	7,6000	2,3224
	3	0,1712	0,4332	7,5790	2,2090
	Promedio	**0,1697**	**0,4619**	**7,5207**	**0,2280**

Tabla AX.2. Valores por réplica de los promedios correspondientes a las cinco determinaciones de jarabe de azúcar morena a diferente concentración (Continuación…)

Tratamientos	Réplica	Presión Inicial (lb^*/pul^2)	Presión Final (lb^*/pul^2)	Tiempo (s)	Área (μ) $(lb^*/pul^2)\cdot s$
Jarabe de azúcar morena a 20 °Brix	1	0,1698	0,7398	7,6670	3,4422
	2	0,1684	0,7950	7,8950	3,4350
	3	0,1852	0,6832	7,8550	3,4614
	Promedio	**0,1745**	**0,7393**	**7,8057**	**3,4462**
Jarabe de azúcar morena a 40 °Brix	1	0,1706	1,1232	7,8300	4,6442
	2	0,2222	0,8638	7,9300	4,3066
	3	0,2314	0,9070	7,8800	4,5400
	Promedio	**0,2081**	**0,9647**	**7,8800**	**4,4969**
Jarabe de azúcar morena a 60 °Brix	1	0,2862	1,2868	7,6910	6,5014
	2	0,3346	1,1758	7,6980	6,5358
	3	0,3700	1,4432	7,6240	6,3950
	Promedio	**0,3303**	**1,3019**	**7,6710**	**6,4774**

Tabla AX.3. Valores por réplica de los promedios correspondientes a las cinco determinaciones de jarabe de azúcar blanca a diferente concentración

Tratamientos	Réplica	Presión Inicial (lb^*/pul^2)	Presión Final (lb^*/pul^2)	Tiempo (s)	Área (μ) $(lb^*/pul^2)\cdot s$
Jarabe de azúcar blanca a 0 °Brix	1	0,1702	0,5430	7,7410	2,7064
	2	0,1690	0,4594	7,6830	2,3720
	3	0,1746	0,4980	7,7030	2,7056
	Promedio	**0,1713**	**0,5001**	**7,7090**	**2,5947**
Jarabe de azúcar blanca a 20 °Brix	1	0,1722	0,5948	7,7270	3,0594
	2	0,1724	0,6128	7,8920	2,9776
	3	0,1694	0,6424	7,9660	3,1040
	Promedio	**0,1713**	**0,6167**	**7,8617**	**3,0470**
Jarabe de azúcar blanca a 40 °Brix	1	0,2182	0,8102	7,8980	4,0990
	2	0,2134	0,8846	7,7840	4,2084
	3	0,2800	0,8168	7,3580	4,1464
	Promedio	**0,2372**	**0,8372**	**7,6800**	**4,1513**
Jarabe de azúcar blanca a 60 °Brix	1	0,3206	1,1670	7,7730	6,1314
	2	0,3870	1,1646	7,7880	6,0776
	3	0,2964	1,0964	7,8890	6,0526
	Promedio	**0,3347**	**1,1427**	**7,8167**	**6,0872**

ANEXO XI

DIFERENCIA DE ESFUERZO EN UNIDADES DE PRESIÓN DEL SISTEMA INGLÉS (lb*/pul^2) Y DEL SISTEMA INTERNACIONAL (Pa) DE MIEL DE PANELA A DIFERENTES CONCENTRACIONES

Tabla AXI.1. Diferencia de esfuerzo en unidades de presión del sistema inglés (lb*/pul^2) y del sistema internacional (Pa) de miel de panela a 0 °Brix en la primera réplica

Tratamiento a_0b_0 (Miel de panela a 0 °Brix)		
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (lb*/pul^2)**	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**
1	0,2780	1 916,7332
2	0,3570	2 461,4164
3	0,3590	1 475,2058
4	0,2810	1 937,4174
5	0,3280	2 261,4694
Promedio	0,3206	2 210,4484
Desv	0,0395	272,2587
Cv	12,3169	12,3169

Tabla .2. Diferencia de esfuerzo en unidades de presión del sistema inglés (lb*/pul^2) y del sistema internacional (Pa) de miel de panela a 20 °Brix en la primera réplica

Tratamiento a_0b_1 (Miel de panela a 20 °Brix)		
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (lb*/pul^2)**	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**
1	0,6150	4 240,2551
2	0,6700	4 619,4649
3	0,7110	4 902,1486
4	0,7740	5 336,5162
5	0,7580	5 226,2006
Promedio	0,7056	4 864,9171
Desv	0,0651	448,5440
Cv	9,2200	9,2200

Tabla AXI.3. Diferencia de esfuerzo en unidades de presión del sistema inglés (lb*/pul^2) y del sistema internacional (Pa) de miel de panela a 40 °Brix en la primera réplica

Tratamiento a_0b_2 (Miel de panela a 40 °Brix)		
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (lb*/pul^2)**	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**
1	0,9010	6 212,1461
2	0,8360	5 763,9891
3	0,8100	5 584,7263
4	0,7470	5 150,3587
5	0,9780	6 743,0399
Promedio	0,8544	5 890,8520
Desv	0,0884	609,8343
Cv	10,3522	10,3522

Tabla AXI.4. Diferencia de esfuerzo en unidades de presión del sistema inglés (lb*/pul^2) y del sistema internacional (Pa) de miel de panela a 60 °Brix en la primera réplica

Tratamiento a_0b_3 (Miel de panela a 60 °Brix)		
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (lb*/pul^2)**	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**
1	1,0480	7 225,6705
2	0,7780	5 364,0951
3	0,9750	6 722,3557
4	0,8040	5 543,3579
5	0,6780	4 674,6227
Promedio	0,8566	5 906,0204
Desv	0,1512	1 042,7640
Cv	17,6559	17,6559

Tabla AXI.5. Diferencia de esfuerzo en unidades de presión del sistema inglés (lb*/pul^2) y del sistema internacional (Pa) de miel de panela a 0 °Brix en la segunda réplica

Tratamiento a_0b_0 (Miel de panela a 0 °Brix)		
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (lb*/pul^2)**	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**
1	0,2510	1 730,5757
2	0,2280	1 571,9970

Tabla AXI.5. Diferencia de esfuerzo en unidades de presión del sistema inglés (lb*/pul^2) y del sistema internacional (Pa) de miel de panela a 0 °Brix en la segunda réplica (Continuación...)

Determinaciones No	Diferencia de esfuerzos ΔP (lb*/pul^2)	Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)
3	0,2450	1 689,2073
4	0,2110	1 454,7867
5	0,1890	1 303,1028
Promedio	0,2248	1 549,9339
Desv	0,0254	174,9956
Cv	11,2905	11,2905

Tabla AXI.6. Diferencia de esfuerzo en unidades de presión del sistema inglés (lb*/pul^2) y del sistema internacional (Pa) de miel de panela a 20 °Brix en la segunda réplica

Tratamiento a_0b_1 (Miel de panela a 20 °Brix)		
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (lb*/pul^2)**	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**
1	0,4470	3 081,9415
2	0,5810	4 005,8345
3	0,5370	3 702,4667
4	0,5010	3 454,2566
5	0,5580	3 847,2559
Promedio	0,5248	3 618,3510
Desv	0,0525	362,0354
Cv	10,0055	10,0055

Tabla AXI.7. Diferencia de esfuerzo en unidades de presión del sistema inglés (lb*/pul^2) y del sistema internacional (Pa) de miel de panela a 40 °Brix en la segunda réplica

Tratamiento a_0b_2 (Miel de panela a 40 °Brix)		
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (lb*/pul^2)**	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**
1	0,6970	4 805,6225
2	0,7670	5 288,2531
3	0,6740	4 647,0438
4	0,6200	4 274,7287

Tabla AXI.7. Diferencia de esfuerzo en unidades de presión del sistema inglés (lb*/pul^2) y del sistema internacional (Pa) de miel de panela a 40 °Brix en la segunda réplica (Continuación…)

Determinaciones No	Diferencia de esfuerzos ΔP (lb*/pul^2)	Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)
5	0,7760	5 530,3057
Promedio	0,7068	4 873,1908
Desv	0,0654	451,0488
Cv	9,2557	9,2557

Tabla AXI.8. Diferencia de esfuerzo en unidades de presión del sistema inglés (lb*/pul^2) y del sistema internacional (Pa) de miel de panela a 60 °Brix en la segunda réplica

Tratamiento a_0b_3 (Miel de panela a 60 °Brix)		
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (lb*/pul^2)**	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**
1	1,3400	9 238,9299
2	1,0250	7 067,0919
3	1,3430	9 259,6140
4	1,0380	7 156,7233
5	1,1520	7 942,7218
Promedio	1,1796	8 133,0162
Desv	0,1558	1 074,4559
Cv	13,2110	13,2110

Tabla AXI.9. Diferencia de esfuerzo en unidades de presión del sistema inglés (lb*/pul^2) y del sistema internacional (Pa) de miel de panela a 0 °Brix en la tercera réplica

Tratamiento a_0b_0 (Miel de panela a 0 °Brix)		
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (lb*/pul^2)**	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**
1	0,2750	1 896,0490
2	0,2920	2 013,2593
3	0,3270	2 254,5747
4	0,2760	1 902,9438
5	0,2510	1 730,5757
Promedio	0,2842	1 959,4805

Tabla AXI.9. Diferencia de esfuerzo en unidades de presión del sistema inglés (lb*/pul^2) y del sistema internacional (Pa) de miel de panela a 0 °Brix en la tercera réplica (Continuación…)

Determinaciones No	Diferencia de esfuerzos ΔP (lb*/pul^2)	Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)
Desv	0,0280	193,3844
Cv	9,8692	9,8692

Tabla AXI.10. Diferencia de esfuerzo en unidades de presión del sistema inglés (lb*/pul^2) y del sistema internacional (Pa) de miel de panela a 20 °Brix en la tercera réplica

Tratamiento a_0b_1 (Miel de panela a 20 °Brix)		
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (lb*/pul^2)**	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**
1	0,4580	3 157,7835
2	0,5010	3 454,2566
3	0,4490	3 095,7310
4	0,4150	2 861,3104
5	0,4830	3 330,1516
Promedio	0,4612	3 179,8466
Desv	0,0330	227,4423
Cv	7,1526	7,1526

Tabla AXI.11. Diferencia de esfuerzo en unidades de presión del sistema inglés (lb*/pul^2) y del sistema internacional (Pa) de miel de panela a 40 °Brix en la tercera réplica

Tratamiento a_0b_2 (Miel de panela a 40 °Brix)		
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (lb*/pul^2)**	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**
1	0,6820	4 702,2016
2	0,5770	3 978,1556
3	0,7790	5 370,9898
4	0,8170	5 632,9893
5	0,8150	5 619,1999
Promedio	0,7340	5 060,7273
Desv	0,1035	713,4290
Cv	14,0974	14,0974

Tabla AXI.12. Diferencia de esfuerzo en unidades de presión del sistema inglés (lb*/pul^2) y del sistema internacional (Pa) de miel de panela a 60 °Brix en la tercera réplica

Tratamiento a_0b_3 (Miel de panela a 60 °Brix)		
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (lb*/pul^2)**	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**
1	1,1040	7 611,7751
2	1,1010	7 591,0909
3	0,8160	5 626,0946
4	1,1860	8 177,1424
5	1,2370	8 528,7733
Promedio	1,0888	7 506,9753
Desv	0,1629	1 123,4952
Cv	14,9660	14,9660

ANEXO XII

DIFERENCIA DE ESFUERZO EN UNIDADES DE PRESIÓN DEL SISTEMA INGLÉS (lb*/pul^2) Y DEL SISTEMA INTERNACIONAL (Pa) DE JARABE DE AZÚCAR MORENA A DIFERENTES CONCENTRACIONES

Tabla AXII.1. Diferencia de esfuerzo en unidades de presión del sistema inglés (lb*/pul^2) y del sistema internacional (Pa) de jarabe de azúcar morena a 0 °Brix en la primera réplica

Tratamiento a_1b_0 (Jarabe de azúcar morena a 0 °Brix)		
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (lb*/pul^2)**	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**
1	0,2970	2 047,7330
2	0,3870	2 668,2581
3	0,3180	2 192,5222
4	0,3170	2 185,6274
5	0,2900	1 999,4699
Promedio	0,3218	2 218,7221
Desv	0,0385	265,1288
Cv	11,9496	11,9496

Tabla AXII.2. Diferencia de esfuerzo en unidades de presión del sistema inglés (lb*/pul^2) y del sistema internacional (Pa) de jarabe de azúcar morena a 20 °Brix en la primera réplica

Tratamiento a_1b_1 (Jarabe de azúcar morena a 20 °Brix)		
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (lb*/pul^2)**	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**
1	0,5150	3 550,7828
2	0,5070	3 495,6250
3	0,5470	3 771,4139
4	0,6550	4 516,0441
5	0,6260	4 316,0971
Promedio	0,5700	3 929,9926
Desv	0,0669	461,0194
Cv	11,7308	11,7308

Tabla AXII.3. Diferencia de esfuerzo en unidades de presión del sistema inglés (lb*/pul^2) y del sistema internacional (Pa) de jarabe de azúcar morena a 40°Brix en la primera réplica

Tratamiento a_1b_2 (Jarabe de azúcar morena a 40 °Brix)		
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (lb*/pul^2)**	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**
1	1,1170	7 701,4065
2	0,99820	6 770,6188
3	0,9200	6 343,1459
4	0,8680	5 984,6202
5	0,8760	6 039,7780
Promedio	0,9256	6 567,9139
Desv	0,1024	706,3240
Cv	10,7542	10,7542

Tabla AXII.4. Diferencia de esfuerzo en unidades de presión del sistema inglés (lb*/pul^2) y del sistema internacional (Pa) de jarabe de azúcar morena a 60°Brix en la primera réplica

Tratamiento a_1b_3 (Jarabe de azúcar morena a 60 °Brix)		
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (lb*/pul^2)**	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**
1	1,0580	7 294,6178
2	0,8800	6 067,3569
3	1,2030	8 294,3527
4	0,9360	6 453,4615
5	0,9260	6 384,5142
Promedio	1,0006	6 898,8606
Desv	0,1309	902,5454
Cv	13,0825	13,0825

Tabla AXII.5. Diferencia de esfuerzo en unidades de presión del sistema inglés (lb*/pul^2) y del sistema internacional (Pa) de jarabe de azúcar morena a 0 °Brix en la segunda réplica

Tratamiento a_1b_0 (Jarabe de azúcar morena a 0 °Brix)		
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (lb*/pul^2)**	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**
1	0,2820	1 944,3121
2	0,3080	2 123,5749

Tabla AXII.5. Diferencia de esfuerzo en unidades de presión del sistema inglés (lb*/pul^2) y del sistema internacional (Pa) de jarabe de azúcar morena a 0 °Brix en la segunda réplica (Continuación...)

Determinaciones No	Diferencia de esfuerzos ΔP (lb*/pul^2)	Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)
3	0,3210	2 213,2063
4	0,2580	1 778,8387
5	0,2960	2 040,8382
Promedio	0,2930	2 020,1541
Desv	0,0243	167,6141
Cv	8,2971	8,2971

Tabla AXII.6. Diferencia de esfuerzo en unidades de presión del sistema inglés (lb*/pul^2) y del sistema internacional (Pa) de jarabe de azúcar morena a 20 °Brix en la segunda réplica

Tratamiento a_1b_1 (Jarabe de azúcar morena a 20 °Brix)		
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (lb*/pul^2)**	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**
1	0,5670	3 909,3084
2	0,6140	4 233,3604
3	0,7000	4 826,3067
4	0,6270	4 322,9918
5	0,6250	4 309,2024
Promedio	0,6266	4 320,2339
Desv	0,0477	328,8790
Cv	7,6125	7,6125

Tabla AXII.7. Diferencia de esfuerzo en unidades de presión del sistema inglés (lb*/pul^2) y del sistema internacional (Pa) de jarabe de azúcar morena a 40°Brix en la segunda réplica

Tratamiento a_1b_2 (Jarabe de azúcar morena a 40 °Brix)		
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (lb*/pul^2)**	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**
1	0,6490	4 474,6757
2	0,6690	4 612,5702
3	0,5820	4 012,7292
4	0,6210	4 281,6235

Tabla AXII.7. Diferencia de esfuerzo en unidades de presión del sistema inglés (lb*/pul^2) y del sistema internacional (Pa) de jarabe de azúcar morena a 40 °Brix en la segunda réplica (Continuación…)

Determinaciones No	Diferencia de esfuerzos ΔP (lb*/pul^2)	Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)
5	0,6870	4 736,6752
Promedio	0,6416	4 423,6548
Desv	0,0414	285,1783
Cv	6,4467	6,4467

Tabla AXII.8. Diferencia de esfuerzo en unidades de presión del sistema inglés (lb*/pul^2) y del sistema internacional (Pa) de jarabe de azúcar morena a 60°Brix en la segunda réplica

Tratamiento a_1b_3 (Jarabe de azúcar morena a 60 °Brix)		
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (lb*/pul^2)**	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**
1	0,8370	5 770,8838
2	0,8100	5 844,7263
3	0,6580	4 536,7283
4	0,9870	6 805,0924
5	0,9140	6 301,7775
Promedio	0,8412	5 799,8417
Desv	0,1236	852,2085
Cv	14,6937	14,6937

Tabla AXII.9. Diferencia de esfuerzo en unidades de presión del sistema inglés (lb*/pul^2) y del sistema internacional (Pa) de jarabe de azúcar morena a 0 °Brix en la tercera réplica

Tratamiento a_1b_0 (Jarabe de azúcar morena a 0 °Brix)		
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (lb*/pul^2)**	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**
1	0,2960	2 040,8382
2	0,2700	1 861,5754
3	0,2420	1 668,5232
4	0,2590	1 785,7335
5	0,2430	1 675,4179
Promedio	0,2620	1 806,4176

Tabla AXII.9. Diferencia de esfuerzo en unidades de presión del sistema inglés (lb*/pul^2) y del sistema internacional (Pa) de jarabe de azúcar morena a 0 °Brix en la tercera réplica (Continuación…)

Determinaciones No	Diferencia de esfuerzos ΔP (lb*/pul^2)	Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)
Desv	0,0223	153,7848
Cv	8,5132	8,5132

Tabla AXII.10. Diferencia de esfuerzo en unidades de presión del sistema inglés (lb*/pul^2) y del sistema internacional (Pa) de jarabe de azúcar morena a 20 °Brix en la tercera réplica

Tratamiento a_1b_1 (Jarabe de azúcar morena a 20 °Brix)		
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (lb*/pul^2)**	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**
1	0,5390	3 716,2561
2	0,4390	3 026,7837
3	0,4170	2 875,0998
4	0,5580	3 847,2559
5	0,5370	3 702,4667
Promedio	0,4980	3 433,5724
Desv	0,0649	447,4139
Cv	13,0306	13,0306

Tabla AXII.11. Diferencia de esfuerzo en unidades de presión del sistema inglés (lb*/pul^2) y del sistema internacional (Pa) de jarabe de azúcar morena a 40 °Brix en la tercera réplica

Tratamiento a_1b_2 (Jarabe de azúcar morena a 40 °Brix)		
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (lb*/pul^2)**	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**
1	0,7700	5 308,9373
2	0,5980	4 123,0448
3	0,6200	4 274,7287
4	0,7310	5 040,0431
5	0,6590	4 543,6230
Promedio	0,6756	4 658,0754
Desv	0,0731	503,9425
Cv	10,8187	10,8187

Tabla AXII.12. Diferencia de esfuerzo en unidades de presión del sistema inglés (lb*/pul^2) y del sistema internacional (Pa) de jarabe de azúcar morena a 60 °Brix en la tercera réplica

Tratamiento a_1b_3 (Jarabe de azúcar morena a 60 °Brix)		
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (lb*/pul^2)**	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**
1	0,7700	5 308,9373
2	0,5980	4 123,0448
3	0,6200	4 274,7287
4	0,7310	5 040,0431
5	0,6590	4 543,6230
Promedio	0,6756	4 658,0754
Desv	0,0731	503,9425
Cv	10,8187	10,8187

ANEXO XIII

DIFERENCIA DE ESFUERZO EN UNIDADES DE PRESIÓN DEL SISTEMA INGLÉS (lb*/pul^2) Y DEL SISTEMA INTERNACIONAL (Pa) DE JARABE DE AZÚCAR BLANCA A DIFERENTES CONCENTRACIONES

Tabla AXIII.1. Diferencia de esfuerzo en unidades de presión del sistema inglés (lb*/pul^2) y del sistema internacional (Pa) de jarabe de azúcar blanca a 0 °Brix en la primera réplica

Tratamiento a_2b_0 (Jarabe de azúcar blanca a 0 °Brix)		
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (lb*/pul^2)**	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**
1	0,4560	3 143,9940
2	0,3470	2 392,4692
3	0,3220	2 220,1011
4	0,3810	2 626,8898
5	0,3580	2 468,3111
Promedio	0,3728	2 570,3530
Desv	0,0511	352,4883
Cv	13,7136	13,7136

Tabla AXIII.2. Diferencia de esfuerzo en unidades de presión del sistema inglés (lb*/pul^2) y del sistema internacional (Pa) de jarabe de azúcar blanca a 20 °Brix en la primera réplica

Tratamiento a_2b_1 (Jarabe de azúcar blanca a 20 °Brix)		
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (lb*/pul^2)**	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**
1	0,4120	2 840,6262
2	0,4710	3 247,4149
3	0,3890	2 682,0476
4	0,4220	2 909,5734
5	0,4190	2 8888,8893
Promedio	0,4226	2 913,7103
Desv	0,0300	206,7613
Cv	7,0962	7,0962

Tabla AXIII.3. Diferencia de esfuerzo en unidades de presión del sistema inglés (lb*/pul^2) y del sistema internacional (Pa) de jarabe de azúcar blanca a 40 °Brix en la primera réplica

Tratamiento a_2b_2 (Jarabe de azúcar blanca a 40 °Brix)		
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (lb*/pul^2)**	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**
1	0,6890	4 750,4647
2	0,5650	3 895,5189
3	0,5970	4 116,1501
4	0,5790	3 992,0451
5	0,5300	3 654,2036
Promedio	0,5920	4 081,6765
Desv	0,0595	410,4533
Cv	10,0560	10,0560

Tabla AXIII.4. Diferencia de esfuerzo en unidades de presión del sistema inglés (lb*/pul^2) y del sistema internacional (Pa) de jarabe de azúcar blanca a 60 °Brix en la primera réplica

Tratamiento a_2b_3 (Jarabe de azúcar blanca a 60 °Brix)		
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (lb*/pul^2)**	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**
1	0,7420	5 115,8851
2	0,9630	6 639,6190
3	0,8880	6 122,5147
4	0,7650	5 274,4637
5	0,8740	6 025,9886
Promedio	0,8464	5 835,6942
Desv	0,0917	632,0360
Cv	10,8305	10,8305

Tabla AXIII.5. Diferencia de esfuerzo en unidades de presión del sistema inglés (lb*/pul^2) y del sistema internacional (Pa) de jarabe de azúcar blanca a 0 °Brix en la segunda réplica

Tratamiento a_2b_0 (Jarabe de azúcar blanca a 0 °Brix)		
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (lb*/pul^2)**	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**
1	0,3250	2 240,7852
2	0,3230	2 226,9958

Tabla AXIII.5. Diferencia de esfuerzo en unidades de presión del sistema inglés (lb*/pul^2) y del sistema internacional (Pa) de jarabe de azúcar blanca a 0 °Brix en la segunda réplica (Continuación...)

Determinaciones No	Diferencia de esfuerzos ΔP (lb*/pul^2)	Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)
3	0,2440	1 682,3126
4	0,3090	2 130,4697
5	0,2510	1 730,5757
Promedio	0,2904	2 002,2278
Desv	0,0397	273,8690
Cv	13,6782	13,6782

Tabla AXIII.6. Diferencia de esfuerzo en unidades de presión del sistema inglés (lb*/pul^2) y del sistema internacional (Pa) de jarabe de azúcar blanca a 20 °Brix en la segunda réplica

Tratamiento a_2b_1 (Jarabe de azúcar blanca a 20 °Brix)		
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (lb*/pul^2)**	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**
1	0,4340	2 992,3101
2	0,5220	3 599,0458
3	0,3660	2 523,4689
4	0,4100	2 826,8368
5	0,4700	3 240,5202
Promedio	0,4404	3 036,4364
Desv	0,0592	408,4098
Cv	13,4503	13,4503

Tabla AXIII.7. Diferencia de esfuerzo en unidades de presión del sistema inglés (lb*/pul^2) y del sistema internacional (Pa) de jarabe de azúcar blanca a 40 °Brix en la segunda réplica

Tratamiento a_2b_2 (Jarabe de azúcar blanca a 40 °Brix)		
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (lb*/pul^2)**	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**
1	0,6230	4 295,4129
2	0,6870	4 736,6752
3	0,8290	5 715,7260
4	0,6520	4 495,3599

Tabla AXIII.7. Diferencia de esfuerzo en unidades de presión del sistema inglés (lb*/pul^2) y del sistema internacional (Pa) de jarabe de azúcar blanca a 40 °Brix en la segunda réplica (Continuación…)

Determinaciones No	Diferencia de esfuerzos ΔP (lb*/pul^2)	Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)
5	0,5650	3 895,5189
Promedio	0,6712	4 627,7386
Desv	0,0989	681,8530
Cv	14,7340	14,7340

Tabla AXIII.8. Diferencia de esfuerzo en unidades de presión del sistema inglés (lb*/pul^2) y del sistema internacional (Pa) de jarabe de azúcar blanca a 60 °Brix en la segunda réplica

Tratamiento a_2b_3 (Jarabe de azúcar blanca a 60 °Brix)		
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (lb*/pul^2)**	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**
1	0,7160	4 936,6222
2	0,7620	5 253,7795
3	0,7770	5 357,2004
4	0,7500	5 171,0428
5	0,8830	6 088,0411
Promedio	0,7776	5 361,3372
Desv	0,0631	434,8215
Cv	8,1103	8,1103

Tabla AXIII.9. Diferencia de esfuerzo en unidades de presión del sistema inglés (lb*/pul^2) y del sistema internacional (Pa) de jarabe de azúcar blanca a 0 °Brix en la tercera réplica

Tratamiento a_2b_0 (Jarabe de azúcar blanca a 0 °Brix)		
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (lb*/pul^2)**	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**
1	0,4030	2 778,5737
2	0,3520	2 426,9428
3	0,2980	2 054,6277
4	0,2860	1 971,890
5	0,2780	1 916,7332
Promedio	0,3234	2 229,7537

Tabla AXIII.9. Diferencia de esfuerzo en unidades de presión del sistema inglés (lb*/pul^2) y del sistema internacional (Pa) de jarabe de azúcar blanca a 0 °Brix en la tercera réplica (Continuación…)

Determinaciones No	Diferencia de esfuerzos ΔP (lb*/pul^2)	Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)
Desv	0,0531	365,7974
Cv	16,4053	16,4053

Tabla AXIII.10. Diferencia de esfuerzo en unidades de presión del sistema inglés (lb*/pul^2) y del sistema internacional (Pa) de jarabe de azúcar blanca a 20 °Brix en la tercera réplica

Tratamiento a_2b_1 (Jarabe de azúcar blanca a 20 °Brix)		
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (lb*/pul^2)**	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**
1	0,4190	2 888,8893
2	0,4660	3 212,9413
3	0,4240	2 923,3629
4	0,5000	3 447,3619
5	0,5560	3 833,4664
Promedio	0,4730	3 261,2044
Desv	0,0570	392,8178
Cv	12,0452	12,0452

Tabla AXIII.11. Diferencia de esfuerzo en unidades de presión del sistema inglés (lb*/pul^2) y del sistema internacional (Pa) de jarabe de azúcar blanca a 40 °Brix en la tercera réplica

Tratamiento a_2b_2 (Jarabe de azúcar blanca a 40 °Brix)		
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (lb*/pul^2)**	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**
1	0,5410	3 730,0456
2	0,4720	3 254,3096
3	0,5280	3 640,4142
4	0,6160	4 247,1499
5	0,5270	3 633,5194
Promedio	0,5368	3 701,0877
Desv	0,0516	355,9775
Cv	9,6182	9,6182

Tabla AXIII.12. Diferencia de esfuerzo en unidades de presión del sistema inglés (lb*/pul^2) y del sistema internacional (Pa) de jarabe de azúcar blanca a 60 °Brix en la tercera réplica

Tratamiento a_2b_3 (Jarabe de azúcar blanca a 60 °Brix)		
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (lb*/pul^2)**	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**
1	0,8450	5 826,0416
2	0,6790	4 681,5175
3	0,8170	5 632,9893
4	0,8260	5 695,0419
5	0,8330	5 743,3049
Promedio	0,8000	5 515,7790
Desv	0,0684	471,6717
Cv	8,5513	8,5513

ANEXO XIV
PARÁMETROS CONSIDERADOS PARA EL CÁLCULO DE LA VISCOSIDAD POR DIFERENCIA DE PRESIÓN DE MIEL DE PANELA A DIFERENTES CONCENTRACIONES, SEGÚN LA ECUACIÓN 22

Tabla AXIV.1. Parámetros considerados para el cálculo de la viscosidad por diferencia de presión de miel de panela a 0 °Brix en la primera réplica, según la Ecuación 22

TRATAMIENTO a_0b_0 (Miel de panela a 0 °Brix)							
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**	**Radio interno jeringuilla R^4 (m^4)**	**Longitud desplazada L (m)**	**Volumen de muestra (m^3)**	**Tiempo de ensayo (s)**	**Caudal Volumétrico (m^3/s)**	**Viscosidad Pa·s**
1	1 916,7332	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	8,0050	3,7477E-07	495,1417
2	2 461,4164	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,5400	3,9788 E-07	598,9119
3	2 475,2058	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,7450	3,8735 E-07	618,6418
4	1 937,4174	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	8,0100	3,7453 E-07	500,7976
5	2 261,4694	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	8,00050	3,7477 E-07	584,1960
Promedio	2 210,4484	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,8610	3,8186 E-07	559,5378
Desv	272,2587	0,0000	0,0000	0,0000	0,2122	1,0500 E-08	57,5519
Cv	12,3169	0,0000	0,0000	0,0000	2,6998	2,7498E+00	10,2856

Tabla AXIV.2. Parámetros considerados para el cálculo de la viscosidad por diferencia de presión de miel de panela a 20 °Brix en la primera réplica, según la Ecuación 22

TRATAMIENTO a_0b_1 (Miel de panela a 20 °Brix)							
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**	**Radio interno jeringuilla R^4 (m^4)**	**Longitud desplazada L (m)**	**Volumen de muestra (m^3)**	**Tiempo de ensayo (s)**	**Caudal Volumétrico (m^3/s)**	**Viscosidad Pa·s**
1	4 240,2551	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,9150	3,7903E-07	1 803,0522
2	4 619,4649	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	8,0000	3,7500 E-07	1 192,5818
3	4 902,1486	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,7800	3,8560 E-07	1 230,7577
4	5 336,5162	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,9800	3,7594 E-07	1 374,2547
5	5 226,2006	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	8,0000	3,7500 E-07	1 349,2194
Promedio	4 864,9171	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,9350	3,7811 E-07	1 245,9732
Desv	448,5440	0,0000	0,0000	0,0000	0,0934	4,5016 E-09	119,1022
Cv	9,2200	0,0000	0,0000	0,0000	1,1772	1,1905 E+00	9,5590

Tabla AXIV.3. Parámetros considerados para el cálculo de la viscosidad por diferencia de presión de miel de panela a 40 °Brix en la primera réplica, según la Ecuación 22

TRATAMIENTO a_0b_2 (Miel de panela a 40 °Brix)							
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**	**Radio interno jeringuilla R^4 (m^4)**	**Longitud desplazada L (m)**	**Volumen de muestra (m^3)**	**Tiempo de ensayo (s)**	**Caudal Volumétrico (m^3/s)**	**Viscosidad Pa·s**
1	6 212,1461	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,8400	3,8265E-07	1 571,6804
2	5 763,9891	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,6950	3,8986 E-07	1 431,3251
3	5 584,7263	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,4250	4,0404 E-07	1 338,1502
4	5 150,3587	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,6850	3,9037 E-07	1 277,2851
5	6 743,0399	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,6300	3,9318 E-07	1 660,3008
Promedio	5 890,8520	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,6550	3,9202 E-07	1 455,7483
Desv	609,8343	0,0000	0,0000	0,0000	0,1502	7,7614 E-09	159,3400
Cv	10,3522	0,0000	0,0000	0,0000	1,9622	1,9798 E+00	10,9456

Tabla AXIV.4. Parámetros considerados para el cálculo de la viscosidad por diferencia de presión de miel de panela a 60 °Brix en la primera réplica, según la Ecuación 22

TRATAMIENTO a_0b_3 (Miel de panela a 60 °Brix)							
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**	**Radio interno jeringuilla R^4 (m^4)**	**Longitud desplazada L (m)**	**Volumen de muestra (m^3)**	**Tiempo de ensayo (s)**	**Caudal Volumétrico (m^3/s)**	**Viscosidad Pa·s**
1	7 225,6705	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,0450	4,2583E-07	1 642,7280
2	5 364,0951	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	8,0050	3,7477 E-07	1 385,6843
3	6 722,3557	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,9050	3,7951 E-07	1 714,8647
4	5 543,3579	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,4450	4,0296 E-07	1 331,8157
5	4 674,6227	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	8,0050	3,7477 E-07	1 207,5758
Promedio	5 906,0204	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,6810	3,9157 E-07	1 456,5337
Desv	1 042,7640	0,0000	0,0000	0,0000	0,4244	2,2438 E-08	214,4513
Cv	17,6559	0,0000	0,0000	0,0000	5,5248	5,7304E+00	14,7234

Tabla AXIV.5. Parámetros considerados para el cálculo de la viscosidad por diferencia de presión de miel de panela a 0 °Brix en la segunda réplica, según la Ecuación 22

TRATAMIENTO a_0b_0 (Miel de panela a 0 °Brix)							
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**	**Radio interno jeringuilla R^4 (m^4)**	**Longitud desplazada L (m)**	**Volumen de muestra (m^3)**	**Tiempo de ensayo (s)**	**Caudal Volumétrico (m^3/s)**	**Viscosidad Pa·s**
1	1 730,5757	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,9350	3,7807E-07	443,1431
2	1 571,9970	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,6700	3,9113 E-07	389,0931

Tabla AXIV.5. Parámetros considerados para el cálculo de la viscosidad por diferencia de presión de miel de panela a 0 °Brix en la segunda réplica, según la Ecuación 22 (Continuación…)

Determinaciones No	Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)	Radio interno jeringuilla R^4 (m^4)	Longitud desplazada L (m)	Volumen de muestra (m^3)	Tiempo de ensayo (s)	Caudal Volumétrico (m^3/s)	Viscosidad Pa·s
3	1 689,2073	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,9500	3,7736 E-07	433,3677
4	1 454,7867	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,8300	3,8314 E-07	367,5933
5	1 303,1028	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,9800	3,7594 E-07	335,5738
Promedio	1 549,9339	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,8730	3,8113 E-07	393,7542
Desv	174,9956	0,0000	0,0000	0,0000	0,1268	6,2179 E-09	44,9988
Cv	11,2905	0,0000	0,0000	0,0000	1,6102	1,6314 E+00	11,4281

Tabla AXIV.6. Parámetros considerados para el cálculo de la viscosidad por diferencia de presión de miel de panela a 20 °Brix en la segunda réplica, según la Ecuación 22

TRATAMIENTO a_0b_1 (Miel de panela a 20 °Brix)							
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**	**Radio interno jeringuilla R^4 (m^4)**	**Longitud desplazada L (m)**	**Volumen de muestra (m^3)**	**Tiempo de ensayo (s)**	**Caudal Volumétrico (m^3/s)**	**Viscosidad Pa·s**
1	3 081,9415	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	8,0050	3,7477E-07	796,1451
2	4 005,8345	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,3150	4,1012 E-07	945,6139
3	3 702,4667	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	8,0050	3,7477 E-07	956,4428
4	3 454,2566	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,9700	3,7641 E-07	888,4222
5	3 847,2559	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,4500	4,0268 E-07	924,9406
Promedio	3 618,3510	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,7490	3,8775 E-07	902,3129
Desv	362,0354	0,0000	0,0000	0,0000	0,3383	1,7241 E-08	64,7719
Cv	10,0055	0,0000	0,0000	0,0000	4,3652	4,4465 E+00	7,1784

Tabla AXIV.7. Parámetros considerados para el cálculo de la viscosidad por diferencia de presión de miel de panela a 40 °Brix en la segunda réplica, según la Ecuación 22

TRATAMIENTO a_0b_2 (Miel de panela a 40 °Brix)							
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**	**Radio interno jeringuilla R^4 (m^4)**	**Longitud desplazada L (m)**	**Volumen de muestra (m^3)**	**Tiempo de ensayo (s)**	**Caudal Volumétrico (m^3/s)**	**Viscosidad Pa·s**
1	4 805,6225	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,9950	3,7523E-07	1 239,8656
2	5 288,2531	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	8,0050	3,7477 E-07	1 366,0924
3	4 647,0438	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,7700	3,8610 E-07	1 165,2102
4	4 274,7287	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,8550	3,8192 E-07	1 083,5807

Tabla AXIV.7. Parámetros considerados para el cálculo de la viscosidad por diferencia de presión de miel de panela a 40 °Brix en la segunda réplica, según la Ecuación 22 (Continuación…)

Determinaciones No	Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)	Radio interno jeringuilla R^4 (m^4)	Longitud desplazada L (m)	Volumen de muestra (m^3)	Tiempo de ensayo (s)	Caudal Volumétrico (m^3/s)	Viscosidad Pa·s
5	5 350,3057	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,8000	3,8462 E-07	1 346,7274
Promedio	4 873,1908	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,8850	3,8053 E-07	1 240,2953
Desv	451,0488	0,0000	0,0000	0,0000	0,1094	5,2661 E-09	119,7394
Cv	9,2557	0,0000	0,0000	0,0000	1,3871	1,3839 E+00	9,6541

Tabla AXIV.8. Parámetros considerados para el cálculo de la viscosidad por diferencia de presión de miel de panela a 60 °Brix en la segunda réplica, según la Ecuación 22

TRATAMIENTO a_0b_3 (Miel de panela a 60 °Brix)							
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**	**Radio interno jeringuilla R^4 (m^4)**	**Longitud desplazada L (m)**	**Volumen de muestra (m^3)**	**Tiempo de ensayo (s)**	**Caudal Volumétrico (m^3/s)**	**Viscosidad Pa·s**
1	9 328,9299	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,4300	4,0377E-07	2 215,2206
2	7 067,0919	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,8750	3,8095 E-07	1 795,9647
3	9 259,6140	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,6500	3,9216 E-07	2 285,9189
4	7 156,7233	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,8550	3,8192 E-07	1 814,1238
5	7 942,7218	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,9450	3,7760 E-07	2 036,4312
Promedio	8 133,0162	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,7510	3,8728 E-07	2 029,5319
Desv	1 074,4559	0,0000	0,0000	0,0000	0,2104	1,0703 E-08	224,1858
Cv	13,2110	0,0000	0,0000	0,0000	2,7145	2,7635 E+00	11,0511

Tabla AXIV.9. Parámetros considerados para el cálculo de la viscosidad por diferencia de presión de miel de panela a 0 °Brix en la tercera réplica, según la Ecuación 22

TRATAMIENTO a_0b_0 (Miel de panela a 0 °Brix)							
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**	**Radio interno jeringuilla R^4 (m^4)**	**Longitud desplazada L (m)**	**Volumen de muestra (m^3)**	**Tiempo de ensayo (s)**	**Caudal Volumétrico (m^3/s)**	**Viscosidad Pa·s**
1	1 896,0490	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,3300	4,0928E-07	448,4975
2	2 013,2593	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,1200	4,2135 E-07	462,5793
3	2 254,5747	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	8,0100	3,7453 E-07	582,7787
4	1 902,9438	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,9000	3,7975 E-07	485,1316
5	1 730,5757	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,9600	3,7688 E-07	444,5393
Promedio	1 959,4805	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,6640	3,9236 E-07	484,7053

Tabla AXIV.9. Parámetros considerados para el cálculo de la viscosidad por diferencia de presión de miel de panela a 0 °Brix en la tercera réplica, según la Ecuación 22 (Continuación…)

Determinaciones No	Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)	Radio interno jeringuilla R^4 (m^4)	Longitud desplazada L (m)	Volumen de muestra (m^3)	Tiempo de ensayo (s)	Caudal Volumétrico (m^3/s)	Viscosidad Pa·s
Desv	193,3844	0,0000	0,0000	0,0000	0,4094	2,1465 E-08	57,0798
Cv	9,8692	0,0000	0,0000	0,0000	5,3422	5,4707 E+00	11,7762

Tabla AXIV.10. Parámetros considerados para el cálculo de la viscosidad por diferencia de presión de miel de panela a 20 °Brix en la tercera réplica, según la Ecuación 22

TRATAMIENTO a_0b_1 (Miel de panela a 20 °Brix)							
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**	**Radio interno jeringuilla R^4 (m^4)**	**Longitud desplazada L (m)**	**Volumen de muestra (m^3)**	**Tiempo de ensayo (s)**	**Caudal Volumétrico (m^3/s)**	**Viscosidad Pa·s**
1	3 157,7835	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,9700	3,7641E-07	812,1704
2	3 454,2566	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,9700	3,7641E-07	888,4222
3	3 095,7310	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,9400	3,7783E-07	793,2137
4	2 861,3104	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,4350	4,0350E-07	686,5188
5	3 330,1516	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,7700	3,8610E-07	835,0097
Promedio	3 179,8466	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,8170	3,8405E-07	803,0670
Desv	227,4423	0,0000	0,0000	0,0000	0,2292	1,1594E-08	74,2787
Cv	7,1526	0,0000	0,0000	0,0000	2,9317	3,0190E+00	9,2494

Tabla AXIV.11. Parámetros considerados para el cálculo de la viscosidad por diferencia de presión de miel de panela a 40 °Brix en la tercera réplica, según la Ecuación 22

TRATAMIENTO a_0b_2 (Miel de panela a 40 °Brix)							
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**	**Radio interno jeringuilla R^4 (m^4)**	**Longitud desplazada L (m)**	**Volumen de muestra (m^3)**	**Tiempo de ensayo (s)**	**Caudal Volumétrico (m^3/s)**	**Viscosidad Pa·s**
1	4 702,2016	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	8,0000	3,7500E-07	1 213,9414
2	3 978,2556	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,7750	3,8585E-07	998,1587
3	5 370,9898	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,9000	3,7975E-07	1 369,2663
4	5 632,9893	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,7600	3,8660E-07	1 410,6106
5	5 619,1999	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,8200	3,8363E-07	1 418,0376
Promedio	5 060,7273	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,8510	3,8217E-07	1 282,0029
Desv	713,4290	0,0000	0,0000	0,0000	0,0995	0,0000	178,7877
Cv	14,0974	0,0000	0,0000	0,0000	1,2677	1,2589	13,9460

Tabla AXIV.12. Parámetros considerados para el cálculo de la viscosidad por diferencia de presión de miel de panela a 60 °Brix en la tercera réplica, según la Ecuación 22

TRATAMIENTO a_0b_3 (Miel de panela a 60 °Brix)							
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**	**Radio interno jeringuilla R^4 (m^4)**	**Longitud desplazada L (m)**	**Volumen de muestra (m^3)**	**Tiempo de ensayo (s)**	**Caudal Volumétrico (m^3/s)**	**Viscosidad Pa·s**
1	7 611,7751	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,7500	3,8710E-07	1 903,6809
2	7 591,0909	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,3400	4,0872E-07	1 798,0706
3	5 626,0946	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,8650	3,8144E-07	1 427,9476
4	8 177,1424	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,6750	3,9088E-07	2 025,2864
5	8 528,7733	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,9500	3,7736E-07	2 188,0649
Promedio	7 056,9753	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,7160	3,8910E-07	1 868,6101
Desv	1 123,4952	0,0000	0,0000	0,0000	0,2351	1,2131E-08	285,9144
Cv	14,9660	0,0000	0,0000	0,0000	3,0475	3,1178E+00	15,3009

ANEXO XV

PARÁMETROS CONSIDERADOS PARA EL CÁLCULO DE LA VISCOSIDAD POR DIFERENCIA DE PRESIÓN DE JARABE DE AZÚCAR MORENA A DIFERENTES CONCENTRACIONES, SEGÚN LA ECUACIÓN 22

Tabla AXV.1. Parámetros considerados para el cálculo de la viscosidad por diferencia de presión de jarabe de azúcar morena a 0 °Brix en la primera réplica, según la Ecuación 22

TRATAMIENTO a_1b_0 (Jarabe de azúcar morena a 0 °Brix)							
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**	**Radio interno jeringuilla R^4 (m^4)**	**Longitud desplazada L (m)**	**Volumen de muestra (m^3)**	**Tiempo de ensayo (s)**	**Caudal Volumétrico (m^3/s)**	**Viscosidad Pa·s**
1	2 047,7330	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	6,7500	4,4444E-07	446,0501
2	2 668,2581	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,7850	3,8536E-07	670,3366
3	2 192,5222	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,3200	4,0984E-07	517,9187
4	2 185,6274	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,2300	4,1494E-07	509,9422
5	1 999,4699	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,8300	3,8314E-07	505,2230
Promedio	2 218,7221	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,3830	4,0754E-07	529,8941
Desv	265,1288	0,0000	0,0000	0,0000	0,4443	2,5047E-08	83,5226
Cv	11,9496	0,0000	0,0000	0,0000	6,0174	6,1457E+00	15,7621

Tabla AXV.2. Parámetros considerados para el cálculo de la viscosidad por diferencia de presión de jarabe de azúcar morena a 20 °Brix en la primera réplica, según la Ecuación 22

TRATAMIENTO a_1b_1 (Jarabe de azúcar morena a 20 °Brix)							
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**	**Radio interno jeringuilla R^4 (m^4)**	**Longitud desplazada L (m)**	**Volumen de muestra (m^3)**	**Tiempo de ensayo (s)**	**Caudal Volumétrico (m^3/s)**	**Viscosidad Pa·s**
1	3 550,7828	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,6250	3,9344E-07	873,7163
2	3 495,6250	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,8500	3,8217E-07	885,5253
3	3 771,4139	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	8,0050	3,7477E-07	974,2536
4	4 516,0441	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,0550	4,2523E-07	1 028,1623
5	4 316,0971	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,8000	3,8462E-07	1 086,4064
Promedio	3 929,9926	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,6670	3,9204E-07	969,6128
Desv	461,0194	0,0000	0,0000	0,0000	0,3680	1,9714E-08	91,3197
Cv	11,7308	0,0000	0,0000	0,0000	4,7999	5,0286E+00	9,4182

Tabla AXV.3. Parámetros considerados para el cálculo de la viscosidad por diferencia de presión de jarabe de azúcar morena a 40 °Brix en la primera réplica, según la Ecuación 22

TRATAMIENTO a_1b_2 (Jarabe de azúcar morena a 40 °Brix)							
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**	**Radio interno jeringuilla R^4 (m^4)**	**Longitud desplazada L (m)**	**Volumen de muestra (m^3)**	**Tiempo de ensayo (s)**	**Caudal Volumétrico (m^3/s)**	**Viscosidad Pa·s**
1	7 701,4065	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,5200	3,9894E-07	1 868,9358
2	6 770,6188	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,7950	3,8486E-07	1 703,1425
3	6 343,1459	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,8250	3,8339E-07	1 601,7530
4	5 984,6202	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	8,0050	3,7477E-07	1 545,9820
5	6 039,7780	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	8,0050	3,7477E-07	1 560,2307
Promedio	6 567,9139	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,8300	3,8334E-07	1 656,0088
Desv	706,3240	0,0000	0,0000	0,0000	0,1991	9,9070E-08	133,9613
Cv	10,7542	0,0000	0,0000	0,0000	2,5431	2,5844E+00	8,0894

Tabla AXV.4. Parámetros considerados para el cálculo de la viscosidad por diferencia de presión de jarabe de azúcar morena a 60 °Brix en la primera réplica, según la Ecuación 22

TRATAMIENTO a_1b_3 (Jarabe de azúcar morena a 60 °Brix)							
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**	**Radio interno jeringuilla R^4 (m^4)**	**Longitud desplazada L (m)**	**Volumen de muestra (m^3)**	**Tiempo de ensayo (s)**	**Caudal Volumétrico (m^3/s)**	**Viscosidad Pa·s**
1	7 294,6178	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	8,0050	3,7477E-07	1 884,3882
2	6 067,3569	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,9350	3,7807E-07	1 553,6492
3	8 294,3527	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,0950	4,2283E-07	1 899,0719
4	6 453,4615	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,4450	4,0296E-07	1 550,4720
5	6 384,5142	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,9750	3,7618E-07	1 643,1040
Promedio	6 898,8606	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,6910	3,9096E-07	1 706,1371
Desv	902,5454	0,0000	0,0000	0,0000	0,4045	2,1253E-08	173,5329
Cv	13,0825	0,0000	0,0000	0,0000	5,2596	5,4360E+00	10,1711

Tabla AXV.5. Parámetros considerados para el cálculo de la viscosidad por diferencia de presión de jarabe de azúcar morena a 0 °Brix en la segunda réplica, según la Ecuación 22

TRATAMIENTO a_1b_0 (Jarabe de azúcar morena a 0 °Brix)							
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**	**Radio interno jeringuilla R^4 (m^4)**	**Longitud desplazada L (m)**	**Volumen de muestra (m^3)**	**Tiempo de ensayo (s)**	**Caudal Volumétrico (m^3/s)**	**Viscosidad Pa·s**
1	1 944,3121	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,7100	3,8911E-07	483,7565
2	2 123,5749	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,7950	3,8486E-07	534,1832

Tabla AXV.5. Parámetros considerados para el cálculo de la viscosidad por diferencia de presión de jarabe de azúcar morena a 0 °Brix en la segunda réplica, según la Ecuación 22 (Continuación…)

Determinaciones No	Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)	Radio interno jeringuilla R^4 (m^4)	Longitud desplazada L (m)	Volumen de muestra (m^3)	Tiempo de ensayo (s)	Caudal Volumétrico (m^3/s)	Viscosidad Pa·s
3	2 213,2063	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,1450	4,1987E-07	510,3060
4	1 778,8387	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,9550	3,7712E-07	456,6498
5	2 040,8382	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,3950	4,0568E-07	487,0272
Promedio	2 020,1541	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,6000	3,9533E-07	494,3845
Desv	167,6141	0,0000	0,0000	0,0000	0,3260	1,7244E-08	29,2763
Cv	8,2971	0,0000	0,0000	0,0000	4,2900	4,3619E+00	5,9218

Tabla AXV.6. Parámetros considerados para el cálculo de la viscosidad por diferencia de presión de jarabe de azúcar morena a 20 °Brix en la segunda réplica, según la Ecuación 22

TRATAMIENTO a_1b_1 (Jarabe de azúcar morena a 20 °Brix)							
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**	**Radio interno jeringuilla R^4 (m^4)**	**Longitud desplazada L (m)**	**Volumen de muestra (m^3)**	**Tiempo de ensayo (s)**	**Caudal Volumétrico (m^3/s)**	**Viscosidad Pa·s**
1	3 909,3084	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	8,0000	3,7500E-07	1 009,2446
2	4 233,3604	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	8,0050	3,7477E-07	1 093,5863
3	4 826,3067	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,9650	3,7665E-07	1 240,5298
4	4 322,9918	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,5300	3,9841E-07	1 050,4754
5	4 309,2024	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,9750	3,7618E-07	1 109,0065
Promedio	4 320,2339	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,8950	3,8020E-07	1 100,5685
Desv	328,8790	0,0000	0,0000	0,0000	0,2047	1,0209E-08	87,4049
Cv	7,6125	0,0000	0,0000	0,0000	2,5931	2,6851E+00	7,9418

Tabla AXV.7. Parámetros considerados para el cálculo de la viscosidad por diferencia de presión de jarabe de azúcar morena a 40 °Brix en la segunda réplica, según la Ecuación 22

TRATAMIENTO a_1b_2 (Jarabe de azúcar morena a 40 °Brix)							
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**	**Radio interno jeringuilla R^4 (m^4)**	**Longitud desplazada L (m)**	**Volumen de muestra (m^3)**	**Tiempo de ensayo (s)**	**Caudal Volumétrico (m^3/s)**	**Viscosidad Pa·s**
1	4 474,6757	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	8,0050	3,7477E-07	1 155,9243
2	4 612,5702	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,7200	3,8860E-07	1 149,1237
3	4 012,7292	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,9150	3,7903E-07	1 024,9372
4	4 281,6235	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	8,0050	3,7477E-07	1 106,0539

Tabla AXV.7. Parámetros considerados para el cálculo de la viscosidad por diferencia de presión de jarabe de azúcar morena a 40 °Brix en la segunda réplica, según la Ecuación 22. (Continuación…)

Determinaciones No	Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)	Radio interno jeringuilla R^4 (m^4)	Longitud desplazada L (m)	Volumen de muestra (m^3)	Tiempo de ensayo (s)	Caudal Volumétrico (m^3/s)	Viscosidad Pa·s
5	4 736,6752	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	8,0050	3,7477E-07	1 223,6056
Promedio	4 423,6548	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,9300	3,7839E-07	1 131,9290
Desv	285,1783	0,0000	0,0000	0,0000	0,1237	6,0016E-09	73,1314
Cv	6,4467	0,0000	0,0000	0,0000	1,5598	1,5861E+00	6,4608

Tabla AXV.8. Parámetros considerados para el cálculo de la viscosidad por diferencia de presión de jarabe de azúcar morena a 60 °Brix en la segunda réplica, según la Ecuación 22

TRATAMIENTO a_1b_3 (Jarabe de azúcar morena a 60 °Brix)							
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**	**Radio interno jeringuilla R^4 (m^4)**	**Longitud desplazada L (m)**	**Volumen de muestra (m^3)**	**Tiempo de ensayo (s)**	**Caudal Volumétrico (m^3/s)**	**Viscosidad Pa·s**
1	5 770,8838	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,9500	3,7736E-07	1 480,5257
2	5 584,7263	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,6800	3,9063E-07	1 384,1068
3	4 536,7283	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,8900	3,8023E-07	1 155,1178
4	6 805,0924	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,0750	4,2403E-07	1 553,6993
5	6 301,7775	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,8950	3,7999E-07	1 605,5421
Promedio	5 799,8417	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,6980	3,9045E-07	1 435,7983
Desv	852,2085	0,0000	0,0000	0,0000	0,3632	1,9448E-08	177,6005
Cv	14,6937	0,0000	0,0000	0,0000	4,7180	4,9809E+00	12,3695

Tabla AXV.9. Parámetros considerados para el cálculo de la viscosidad por diferencia de presión de jarabe de azúcar morena a 0 °Brix en la tercera réplica, según la Ecuación 22

TRATAMIENTO a_1b_0 (Jarabe de azúcar morena a 0 °Brix)							
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**	**Radio interno jeringuilla R^4 (m^4)**	**Longitud desplazada L (m)**	**Volumen de muestra (m^3)**	**Tiempo de ensayo (s)**	**Caudal Volumétrico (m^3/s)**	**Viscosidad Pa·s**
1	2 040,8382	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	6,8300	4 3924E-07	449,8169
2	1 861,5754	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,7200	3,8860E-07	463,7719
3	1 668,5232	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,7500	3,8710E-07	417,2924
4	1 785,7335	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,8800	3,8071E-07	454,0978
5	1 675,4179	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,7150	3,8885E-07	417,1244
Promedio	1 806,4176	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,5790	3,9690E-07	440,4207

Tabla AXV.9. Parámetros considerados para el cálculo de la viscosidad por diferencia de presión de jarabe de azúcar morena a 0 °Brix en la tercera réplica, según la Ecuación 22. (Continuación…)

Determinaciones No	Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)	Radio interno jeringuilla R^4 (m^4)	Longitud desplazada L (m)	Volumen de muestra (m^3)	Tiempo de ensayo (s)	Caudal Volumétrico (m^3/s)	Viscosidad Pa·s
Desv	153,7848	0,0000	0,0000	0,0000	0,4240	2,3898E-08	21,7846
Cv	8,5132	0,0000	0,0000	0,0000	5,5949	6,0211E+00	4,9463

Tabla AXV.10. Parámetros considerados para el cálculo de la viscosidad por diferencia de presión de jarabe de azúcar morena a 20 °Brix en la tercera réplica, según la Ecuación 22

TRATAMIENTO a_1b_1 (Jarabe de azúcar morena a 20 °Brix)							
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**	**Radio interno jeringuilla R^4 (m^4)**	**Longitud desplazada L (m)**	**Volumen de muestra (m^3)**	**Tiempo de ensayo (s)**	**Caudal Volumétrico (m^3/s)**	**Viscosidad Pa·s**
1	3 716,2561	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,8500	3,8217E-07	941,4165
2	3 026,7837	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,9450	3,7760E-07	776,0359
3	2 875,0998	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,9000	3,7975E-07	732,9705
4	3 847,2559	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,8600	3,8168E-07	975,8434
5	3 702,4667	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,7200	3,8860E-07	922,3908
Promedio	3 433,5724	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,8550	3,8196E-07	869,7314
Desv	447,4139	0,0000	0,0000	0,0000	0,0843	4,1282E-09	107,9976
Cv	13,0306	0,0000	0,0000	0,0000	1,0727	1,0808E+00	12,4173

Tabla AXV.11. Parámetros considerados para el cálculo de la viscosidad por diferencia de presión de jarabe de azúcar morena a 40 °Brix en la tercera réplica, según la Ecuación 22

TRATAMIENTO a_1b_2 (Jarabe de azúcar morena a 40 °Brix)							
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**	**Radio interno jeringuilla R^4 (m^4)**	**Longitud desplazada L (m)**	**Volumen de muestra (m^3)**	**Tiempo de ensayo (s)**	**Caudal Volumétrico (m^3/s)**	**Viscosidad Pa·s**
1	5 308,9373	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,9050	3,7951E-07	1 354,3034
2	4 123,0448	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,9900	3,7547E-07	1 063,0932
3	4 274,7287	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,9750	3,7618E-07	1 100,1344
4	5 040,0431	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	8,0050	3,7477E-07	1 301,9733
5	4 563,6230	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,5250	3,9867E-07	1 103,3551
Promedio	4 658,0754	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,8800	3,8092E-07	1 184,5719
Desv	503,9425	0,0000	0,0000	0,0000	0,2021	0,0000	133,2993
Cv	10,8187	0,0000	0,0000	0,0000	2,5649	2,6487	11,2530

Tabla AXV.12. Parámetros considerados para el cálculo de la viscosidad por diferencia de presión de jarabe de azúcar morena a 60 °Brix en la tercera réplica, según la Ecuación 22

TRATAMIENTO a_1b_3 (Jarabe de azúcar morena a 60 °Brix)							
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**	**Radio interno jeringuilla R^4 (m^4)**	**Longitud desplazada L (m)**	**Volumen de muestra (m^3)**	**Tiempo de ensayo (s)**	**Caudal Volumétrico (m^3/s)**	**Viscosidad Pa·s**
1	6 729,2504	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,1800	4,1783E-07	1 559,1849
2	7 170,5127	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,9650	3,7665E-07	1 843,0728
3	7 687,6170	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,4750	4,0134E-07	1 854,4257
4	8 156,4582	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,7600	3,8660E-07	2 042,5366
5	7 253,2494	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,7400	3,8760E-07	1 811,6741
Promedio	7 399,4176	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,6240	3,9400E-07	1 822,1788
Desv	542,9217	0,0000	0,0000	0,0000	0,3031	1,5857E-08	172,7065
Cv	7,3374	0,0000	0,0000	0,0000	3,9761	4,0499E+00	9,4780

ANEXO XVI

PARÁMETROS CONSIDERADOS PARA EL CÁLCULO DE LA VISCOSIDAD POR DIFERENCIA DE PRESIÓN DE JARABE DE AZÚCAR BLANCA A DIFERENTES CONCENTRACIONES, SEGÚN LA ECUACIÓN 22

Tabla AXVI.1. Parámetros considerados para el cálculo de la viscosidad por diferencia de presión de jarabe de azúcar blanca a 0 °Brix en la primera réplica, según la Ecuación 22

TRATAMIENTO a_2b_0 (Jarabe de azúcar blanca a 0 °Brix)							
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**	**Radio interno jeringuilla R^4 (m^4)**	**Longitud desplazada L (m)**	**Volumen de muestra (m^3)**	**Tiempo de ensayo (s)**	**Caudal Volumétrico (m^3/s)**	**Viscosidad Pa·s**
1	3 143,9940	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,8100	3,8412E-07	792,3905
2	2 392,4692	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	8,0050	3,7477E-07	618,0366
3	2 220,1011	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,8600	3,8168E-07	563,1211
4	2 626,8898	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,3500	4,0816E-07	623,0683
5	2 468,3111	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,6800	3,9063E-07	611,7410
Promedio	2 570,3530	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,7410	3,8787E-07	641,6715
Desv	352,4883	0,0000	0,0000	0,0000	0,2476	1,2684E-08	87,5884
Cv	13,7136	0,0000	0,0000	0,0000	3,1985	3,2700E+00	13,6500

Tabla AXVI.2. Parámetros considerados para el cálculo de la viscosidad por diferencia de presión de jarabe de azúcar blanca a 20 °Brix en la primera réplica, según la Ecuación 22

TRATAMIENTO a_2b_1 (Jarabe de azúcar blanca a 20 °Brix)							
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**	**Radio interno jeringuilla R^4 (m^4)**	**Longitud desplazada L (m)**	**Volumen de muestra (m^3)**	**Tiempo de ensayo (s)**	**Caudal Volumétrico (m^3/s)**	**Viscosidad Pa·s**
1	2 840,6262	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,5850	3,9552E-07	695,3063
2	3 247,4149	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	8,0050	3,7477E-07	838,8912
3	2 682,0476	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,7400	3,8760E-07	669,9061
4	2 909,5734	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,4200	4,0431E-07	696,6902
5	2 888,8893	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,8850	3,8047E-07	735,0876
Promedio	2 913,7103	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,7270	3,8853E-07	727,1763
Desv	206,7613	0,0000	0,0000	0,0000	0,2328	1,1760E-08	66,6479
Cv	7,0962	0,0000	0,0000	0,0000	3,0131	3,0268E+00	9,1653

Tabla AXVI.3. Parámetros considerados para el cálculo de la viscosidad por diferencia de presión de jarabe de azúcar blanca a 40 °Brix en la primera réplica, según la Ecuación 22

TRATAMIENTO a_2b_2 (Jarabe de azúcar blanca a 40 °Brix)							
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**	**Radio interno jeringuilla R^4 (m^4)**	**Longitud desplazada L (m)**	**Volumen de muestra (m^3)**	**Tiempo de ensayo (s)**	**Caudal Volumétrico (m^3/s)**	**Viscosidad Pa·s**
1	4 750,4647	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,9050	3,7951E-07	1 211,8377
2	3 895,5189	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,9300	3,7831E-07	996,8849
3	4 116,1501	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,8350	3,8290E-07	1 040,7267
4	3 992,0451	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,8600	3,8168E-07	1 012,5687
5	3 654,2036	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,9600	3,7688E-07	938,6686
Promedio	4 081,6765	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,8980	3,7986E-07	1 040,1373
Desv	410,4533	0,0000	0,0000	0,0000	0,0508	2,4452E-09	102,9661
Cv	10,0560	0,0000	0,0000	0,0000	0,6434	6,4371E-01	9,8993

Tabla XVI.4. Parámetros considerados para el cálculo de la viscosidad por diferencia de presión de jarabe de azúcar blanca a 60 °Brix en la primera réplica, según la Ecuación 22

TRATAMIENTO a_2b_3 (Jarabe de azúcar blanca a 60 °Brix)							
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**	**Radio interno jeringuilla R^4 (m^4)**	**Longitud desplazada L (m)**	**Volumen de muestra (m^3)**	**Tiempo de ensayo (s)**	**Caudal Volumétrico (m^3/s)**	**Viscosidad Pa·s**
1	5 115,8851	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,7550	3,8685E-07	1 280,2921
2	6 639,6190	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,7150	3,8885E-07	1 653,0485
3	6 122,5147	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,7000	3,8961E-07	1 521,3427
4	5 274,4637	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,9150	3,7903E-07	1 347,2113
5	6 025,9886	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,7800	3,8560E-07	1 512,9146
Promedio	5 835,6942	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,7730	3,8599E-07	1 462,9618
Desv	632,0360	0,0000	0,0000	0,0000	0,0855	4,2032E-09	148,9991
Cv	10,8305	0,0000	0,0000	0,0000	1,0998	1,0889E+00	10,1848

Tabla AXVI.5. Parámetros considerados para el cálculo de la viscosidad por diferencia de presión de jarabe de azúcar blanca a 0 °Brix en la segunda réplica, según la Ecuación 22

TRATAMIENTO a_2b_0 (Jarabe de azúcar blanca a 0 °Brix)							
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**	**Radio interno jeringuilla R^4 (m^4)**	**Longitud desplazada L (m)**	**Volumen de muestra (m^3)**	**Tiempo de ensayo (s)**	**Caudal Volumétrico (m^3/s)**	**Viscosidad Pa·s**
1	2 240,7852	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	6,6100	4,5386E-07	477,9783
2	2 226,9958	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,9850	3,7570E-07	573,8532

Tabla AXVI.5. Parámetros considerados para el cálculo de la viscosidad por diferencia de presión de jarabe de azúcar blanca a 0 °Brix en la segunda réplica, según la Ecuación 22 (Continuación…)

Determinaciones No	Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)	Radio interno jeringuilla R^4 (m^4)	Longitud desplazada L (m)	Volumen de muestra (m^3)	Tiempo de ensayo (s)	Caudal Volumétrico (m^3/s)	Viscosidad Pa·s
3	1 682,3126	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	8,0000	3,7500E-07	434,3134
4	2 130,4697	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,9350	3,7807E-07	545,5427
5	1 730,5757	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,8850	3,8047E-07	440,3508
Promedio	2 002,2278	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,6830	3,9262E-07	494,4077
Desv	273,8690	0,0000	0,0000	0,0000	0,6015	3,4300E-08	62,7092
Cv	13,6782	0,0000	0,0000	0,0000	7,8293	8,7362E+00	12,6837

Tabla AXVI.6. Parámetros considerados para el cálculo de la viscosidad por diferencia de presión de jarabe de azúcar blanca a 20 °Brix en la segunda réplica, según la Ecuación 22

TRATAMIENTO a_2b_1 (Jarabe de azúcar blanca a 20 °Brix)							
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**	**Radio interno jeringuilla R^4 (m^4)**	**Longitud desplazada L (m)**	**Volumen de muestra (m^3)**	**Tiempo de ensayo (s)**	**Caudal Volumétrico (m^3/s)**	**Viscosidad Pa·s**
1	2 992,3101	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,8700	3,8119E-07	759,9549
2	3 599,0458	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,9600	3,7688E-07	924,5001
3	2 523,4689	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,8850	3,8047E-07	642,1052
4	2 826,8368	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,9250	3,7855E-07	722,9471
5	3 240,5202	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,8200	3,8363E-07	817,7640
Promedio	3 036,4364	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,8920	3,8015E-07	773,4542
Desv	408,4098	0,0000	0,0000	0,0000	0,0535	2,5760E-09	105,7875
Cv	13,4503	0,0000	0,0000	0,0000	0,6773	6,7763E-01	13,6773

Tabla AXVI.7. Parámetros considerados para el cálculo de la viscosidad por diferencia de presión de jarabe de azúcar blanca a 40 °Brix en la segunda réplica, según la Ecuación 22

TRATAMIENTO a_2b_2 (Jarabe de azúcar blanca a 40 °Brix)							
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**	**Radio interno jeringuilla R^4 (m^4)**	**Longitud desplazada L (m)**	**Volumen de muestra (m^3)**	**Tiempo de ensayo (s)**	**Caudal Volumétrico (m^3/s)**	**Viscosidad Pa·s**
1	4 295,4129	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,5350	3,9814E-07	1 044,4669
2	4 736,6752	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,5400	3,9788E-07	1 152,5279
3	5 715,7260	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	8,0100	3,7453E-07	1 477,4419
4	4495,3599	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,8250	3,8339E-07	1 135,1554

Tabla AXVI.7. Parámetros considerados para el cálculo de la viscosidad por diferencia de presión de jarabe de azúcar blanca a 40 °Brix en la segunda réplica, según la Ecuación 22 (Continuación…)

Determinaciones No	Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)	Radio interno jeringuilla R^4 (m^4)	Longitud desplazada L (m)	Volumen de muestra (m^3)	Tiempo de ensayo (s)	Caudal Volumétrico (m^3/s)	Viscosidad Pa·s
5	3 895,5189	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	8,0100	3,7453E-07	1 006,9417
Promedio	4 627,7386	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,7840	3,8569E-07	1 163,3068
Desv	681,8530	0,0000	0,0000	0,0000	0,2374	1,1810E-08	185,8511
Cv	14,7340	0,0000	0,0000	0,0000	3,0494	3,0620E+00	15,9761

Tabla AXVI.8. Parámetros considerados para el cálculo de la viscosidad por diferencia de presión de jarabe de azúcar blanca a 60 °Brix en la segunda réplica, según la Ecuación 22

TRATAMIENTO a_2b_3 (Jarabe de azúcar blanca a 60 °Brix)							
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**	**Radio interno jeringuilla R^4 (m^4)**	**Longitud desplazada L (m)**	**Volumen de muestra (m^3)**	**Tiempo de ensayo (s)**	**Caudal Volumétrico (m^3/s)**	**Viscosidad Pa·s**
1	4 936,6222	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,9150	3,7903E-07	1 260,9194
2	5 253,7795	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,9000	3,7975E-07	1 339,3850
3	5 357,2004	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,8250	3,8339E-07	1 352,7849
4	5 171,0428	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,9300	3,7831E-07	1 323,2985
5	6 088,0411	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,3700	4,0706E-07	1 447,9433
Promedio	5 361,3372	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,7880	3,8551E-07	1 344,8662
Desv	434,8215	0,0000	0,0000	0,0000	0,2371	1,2205E-08	67,5090
Cv	8,1163	0,0000	0,0000	0,0000	3,0449	3,1659E+00	5,0198

Tabla AXVI.9. Parámetros considerados para el cálculo de la viscosidad por diferencia de presión de jarabe de azúcar blanca a 0 °Brix en la tercera réplica, según la Ecuación 22

TRATAMIENTO a_2b_0 (Jarabe de azúcar blanca a 0 °Brix)							
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**	**Radio interno jeringuilla R^4 (m^4)**	**Longitud desplazada L (m)**	**Volumen de muestra (m^3)**	**Tiempo de ensayo (s)**	**Caudal Volumétrico (m^3/s)**	**Viscosidad Pa·s**
1	2 778,5737	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	8,0050	3,7477E-07	717,7774
2	2 426,9428	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,8900	3,8023E-07	617,9353
3	2 054,6277	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,3400	4,0872E-07	486,6713
4	1 971,8910	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,3550	4,0789E-07	468,0283
5	1 916,7332	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,9250	3,7855E-07	490,1934
Promedio	2 229,7537	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,7030	3,9003E-07	556,1211

Tabla AXVI.9. Parámetros considerados para el cálculo de la viscosidad por diferencia de presión de jarabe de azúcar blanca a 0 °Brix en la tercera réplica, según la Ecuación 22 (Continuación…)

Determinaciones No	Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)	Radio interno jeringuilla R^4 (m^4)	Longitud desplazada L (m)	Volumen de muestra (m^3)	Tiempo de ensayo (s)	Caudal Volumétrico (m^3/s)	Viscosidad Pa·s
Desv	365,7974	0,0000	0,0000	0,0000	0,3272	1,6800E-08	108,2634
Cv	16,4053	0,0000	0,0000	0,0000	4,2481	4,3075E+00	19,4676

Tabla AXVI.10. Parámetros considerados para el cálculo de la viscosidad por diferencia de presión de jarabe de azúcar blanca a 20 °Brix en la tercera réplica, según la Ecuación 22

TRATAMIENTO a_2b_1 (Jarabe de azúcar blanca a 20 °Brix)							
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**	**Radio interno jeringuilla R^4 (m^4)**	**Longitud desplazada L (m)**	**Volumen de muestra (m^3)**	**Tiempo de ensayo (s)**	**Caudal Volumétrico (m^3/s)**	**Viscosidad Pa·s**
1	2 888,8893	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	8,0000	3,7500E-07	745,8086
2	3 212,9413	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,8750	3,8095E-07	816,5069
3	2 923,3629	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	8,0050	3,7477E-07	755,1801
4	3 447,3619	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	8,0100	3,7453E-07	891,0989
5	3 833,4664	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,9400	3,7783E-07	982,2424
Promedio	3 261,2044	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,9660	3,7662E-07	838,1674
Desv	392,8178	0,0000	0,0000	0,0000	0,0582	3,7688E-09	99,3045
Cv	12,0452	0,0000	0,0000	0,0000	0,7312	7,3518E-01	11,8478

Tabla AXVI.11. Parámetros considerados para el cálculo de la viscosidad por diferencia de presión de jarabe de azúcar blanca a 40 °Brix en la tercera réplica, según la Ecuación 22

TRATAMIENTO a_2b_2 (Jarabe de azúcar blanca a 40 °Brix)							
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**	**Radio interno jeringuilla R^4 (m^4)**	**Longitud desplazada L (m)**	**Volumen de muestra (m^3)**	**Tiempo de ensayo (s)**	**Caudal Volumétrico (m^3/s)**	**Viscosidad Pa·s**
1	3 730,0456	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,4000	4,0541E-07	890,7429
2	3 254,3096	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,7800	3,8560E-07	817,0431
3	3 640,4142	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,2700	4,1265E-07	854,0665
4	4 247,1499	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	6,9700	4,3042E-07	955,2936
5	3 633,5194	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,3700	4,0706E-07	864,1746
Promedio	3 701,0877	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,3580	4,0823E-07	876,2641
Desv	355,9775	0,0000	0,0000	0,0000	0,2908	0,0000	51,4813
Cv	9,6182	0,0000	0,0000	0,0000	3,9523	3,9367	5,8751

Tabla AXVI.12. Parámetros considerados para el cálculo de la viscosidad por diferencia de presión de jarabe de azúcar blanca a 60 °Brix en la tercera réplica, según la Ecuación 22

TRATAMIENTO a_2b_3 (Jarabe de azúcar blanca a 60 °Brix)							
Determinaciones No	**Diferencia de esfuerzos ΔP (Pa)**	**Radio interno jeringuilla R^4 (m^4)**	**Longitud desplazada L (m)**	**Volumen de muestra (m^3)**	**Tiempo de ensayo (s)**	**Caudal Volumétrico (m^3/s)**	**Viscosidad Pa·s**
1	5 826,0416	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,9450	3,7760E-07	1 493,7365
2	4 681,5175	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,8650	3,8144E-07	1 188,2064
3	5 632,9893	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	8,0100	3,7453E-07	1 456,0556
4	5 695,0419	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,9000	3,7975E-07	1 451,8793
5	5 743,3049	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,7250	3,8835E-07	1 431,7489
Promedio	5 515,7790	2,9583E-09	0,0120	3,0000E-06	7,8890	3,8033E-07	1 404,3253
Desv	471,6717	0,0000	0,0000	0,0000	0,1065	5,1713E-09	122,8731
Cv	8,5513	0,0000	0,0000	0,0000	1,3500	1,3597E+00	8,7496

ANEXO XVII
VALORES PROMEDIOS POR RÉPLICA DE: TIEMPO DE DURACIÓN DEL ENSAYO, CAUDAL Y VISCOSIDAD

Tabla AXVII.1. Valores promedios por réplica de: tiempo de duración del ensayo, caudal y viscosidad de miel de panela

Tratamientos	Réplica	Tiempo (s)	Caudal Volumétrico (m^3/s)	Viscosidad (Pa·s)
Miel de panela a 0 °Brix	1	7,8610	3,8186E-07	559,5378
	2	7,8730	3,8113E-07	393,7542
	3	7,6640	3,9236E-07	484,7053
	Promedio	7,7993	3,8511E-07	479,3324
Miel de panela a 20 °Brix	1	7,9350	3,7811E-07	1 245,9732
	2	7,7490	3,8775E-07	902,3129
	3	7,8170	3,8405E-07	803,0670
	Promedio	7,8337	3,8330E-07	983,7843
Miel de panela a 40 °Brix	1	7,6550	3,9202E-07	1 455,7483
	2	7,8850	3,8053E-07	1 240,2953
	3	7,8510	3,8217E-07	1 282,0029
	Promedio	7,7970	3,8491E-07	1326,0155
Miel de panela a 60 °Brix	1	7,6810	3,9157E-07	1 456,5337
	2	7,7510	3,8728E-07	2 029,5319
	3	7,7160	3,8910E-07	1 868,6101
	Promedio	7,7160	3,8931E-07	1 784,8919

Tabla AXVII.2. Valores promedios por réplica de: tiempo de duración del ensayo, caudal y viscosidad de jarabe de azúcar morena

Tratamientos	Réplica	Tiempo (s)	Caudal Volumétrico (m^3/s)	Viscosidad (Pa·s)
Jarabe de azúcar morena a 0 °Brix	1	7,3830	4,0754E-07	529,8941
	2	7,6000	3,9533E-07	494,3845
	3	7,5790	3,9690E-07	440,4207
	Promedio	7,5207	3,9992E-07	488,2331
Jarabe de azúcar morena a 20 °Brix	1	7,6670	3,9204E-07	969,6128
	2	7,8950	3,8020E-07	1 100,5685
	3	7,8550	3,8196E-07	869,7314
	Promedio	7,8057	3,8473E-07	979,9709

Tabla AXVII.2. Valores promedios por réplica de: tiempo de duración del ensayo, caudal y viscosidad de jarabe de azúcar morena (Continuación…)

Tratamientos	Réplica	Tiempo (s)	Caudal Volumétrico (m^3/s)	Viscosidad (Pa·s)
Jarabe de azúcar morena a 40 °Brix	1	7,8300	3,8334E-07	1 656,0088
	2	7,9300	3,7839E-07	1 131,9290
	3	7,8800	3,8092E-07	1 184,5719
	Promedio	7,8800	3,8088E-07	1 324,1699
Jarabe de azúcar morena a 60 °Brix	1	7,6910	3,9096E-07	1 706,1371
	2	7,6980	3,9045E-07	1 435,7983
	3	7,6240	3,9400E-07	1 822,1788
	Promedio	7,6710	3,9180E-07	1 654,7047

Tabla AXVII.3. Valores promedios por réplica de: tiempo de duración del ensayo, caudal y viscosidad de jarabe de azúcar blanca

Tratamientos	Réplica	Tiempo (s)	Caudal Volumétrico (m^3/s)	Viscosidad (Pa·s)
Jarabe de azúcar blanca a 0 °Brix	1	7,7410	3,8787E-07	641,6715
	2	7,6830	3,9262E-07	494,4077
	3	7,7030	3,9003E-07	556,1211
	Promedio	7,7090	3,9017E-07	564,0668
Jarabe de azúcar blanca a 20 °Brix	1	7,7270	3,8853E-07	727,1763
	2	7,8920	3,8015E-07	773,4542
	3	7,9660	3,7662E-07	838,1674
	Promedio	7,8617	3,8176E-07	779,5993
Jarabe de azúcar blanca a 40 °Brix	1	7,8980	3,7986E-07	1 040,1373
	2	7,7840	3,8569E-07	1 163,3068
	3	7,3580	4,0823E-07	876,2641
	Promedio	7,6800	3,9126E-07	1 026,5694
Jarabe de azúcar blanca a 60 °Brix	1	7,7730	3,8560E-07	1 512,9146
	2	7,7880	3,8551E-07	1 344,8662
	3	7,8890	3,8033E-07	1 404,3253
	Promedio	7,8167	3,8381E-07	1 420,7020

ANEXO XVIII

DETERMINACIONES INSTRUMENTALES (TA-XT2i, ACCESORIO «BACK EXTRUSION RIG»(A/BE)) DE FIRMEZA, CONSISTENCIA, COHESIVIDAD Y RESISTENCIA AL FLUJO DE MIEL DE PANELA A DIFERENTES CONCETRACIONES

Tabla AXVIII.1. Determinaciones instrumentales (TA-XT2i, accesorio «Back Extrusion Rig» de firmeza, consistencia, cohesividad y resistencia al flujo de miel de panela en la primera réplica

Tratamientos	Determinaciones No	Firmeza (g*)	Consistencia (g*·s)	Cohesividad (g*)	Resistencia al flujo (g*·s)
a_0b_0 (Miel de panela a 0 °Brix)	1	12,6000	191,6000	-7,8000	-5,9030
	2	12,6000	192,6000	-7,7000	-5,6940
	Promedio	**12,6000**	**192,1000**	**-7,7500**	**-5,7985**
a_0b_1 (Miel de panela a 20 °Brix)	1	13,7000	204,3000	-8,2000	-6,4490
	2	13,8000	202,9000	-8,1000	-6,3220
	Promedio	**13,7500**	**203,6000**	**-8,1500**	**-6,3855**
a_0b_2 (Miel de panela a 40 °Brix)	1	15,0000	222,7000	-8,7000	-7,0740
	2	14,9000	221,6000	-8,6000	-6,9870
	Promedio	**14,9500**	**222,1500**	**-8,6500**	**-7,0305**
a_0b_3 (Miel de panela a 60 °Brix)	1	16,7000	250,1000	-10,6000	-10,6800
	2	16,6000	249,5000	-10,9000	-10,8500
	Promedio	**16,6500**	**249,8000**	**-10,7500**	**-10,7650**

Tabla AXVIII.2. Determinaciones instrumentales (TA-XT2i, accesorio «Back Extrusion Rig» de firmeza, consistencia, cohesividad y resistencia al flujo de miel de panela en la segunda réplica

Tratamientos	Determinaciones No	Firmeza (g*)	Consistencia (g*·s)	Cohesividad (g*)	Resistencia al flujo (g*·s)
a_0b_0 (Miel de panela a 0 °Brix)	1	12,6000	187,8000	-6,8000	-4,9390
	2	12,7000	189,1000	-6,8000	-4,8720
	Promedio	**12,6500**	**188,4500**	**-6,8000**	**-4,9055**
a_0b_1 (Miel de panela a 20 °Brix)	1	13,7000	205,1000	-7,9000	-5,7810
	2	13,7000	202,4000	-7,2000	-5,2840
	Promedio	**13,7000**	**203,7500**	**-7,7500**	**-5,5325**

Tabla AXVIII.2. Determinaciones instrumentales (TA-XT2i, accesorio «Back Extrusion Rig» de firmeza, consistencia, cohesividad y resistencia al flujo de miel de panela en la segunda réplica (Continuación…)

Tratamientos	Determinaciones No	Firmeza (g*)	Consistencia (g*·s)	Cohesividad (g*)	Resistencia al flujo (g*·s)
a_0b_2 (Miel de panela a 40 °Brix)	1	14,9000	219,6000	-8,5000	-6,5870
	2	14,9000	221,8000	-8,2000	-6,3760
	Promedio	**14,9000**	**220,7000**	**-8,3500**	**-6,4815**
a_0b_3 (Miel de panela a 60 °Brix)	1	16,5000	247,1000	-10,3000	-9,8580
	2	16,3000	245,6000	-10,5000	-10,1300
	Promedio	**16,4000**	**246,3500**	**-10,4000**	**-9,9940**

Tabla AXVIII.3. Determinaciones instrumentales (TA-XT2i, accesorio «Back Extrusion Rig» de firmeza, consistencia, cohesividad y resistencia al flujo de miel de panela en la tercera réplica

Tratamientos	Determinaciones No	Firmeza (g*)	Consistencia (g*·s)	Cohesividad (g*)	Resistencia al flujo (g*·s)
a_0b_0 (Miel de panela a 0 °Brix)	1	12,7000	190,2000	-6,8000	-5,0970
	2	12,8000	190,5000	-6,8000	-5,1310
	Promedio	**12,7500**	**190,3500**	**-6,8000**	**-5,1140**
a_0b_1 (Miel de panela a 20 °Brix)	1	13,7000	198,8000	-7,6000	-5,5790
	2	13,7000	203,0000	-7,5000	-4,7990
	Promedio	**13,7000**	**200,9000**	**-7,5500**	**-5,1890**
a_0b_2 (Miel de panela a 40 °Brix)	1	15,0000	219,7000	-8,5000	-6,6260
	2	15,0000	223,5000	-8,5000	-6,6610
	Promedio	**15,0000**	**221,6000**	**-8,5000**	**-6,6345**
a_0b_3 (Miel de panela a 60 °Brix)	1	16,5000	244,3000	-10,7000	-10,3900
	2	16,6000	246,4000	-10,6000	-10,4000
	Promedio	**16,5500**	**243,3500**	**-10,6500**	**-10,3950**

ANEXO XIX

DETERMINACIONES INSTRUMENTALES (TA-XT2i, ACCESORIO «BACK EXTRUSION RIG»(A/BE)) DE FIRMEZA, CONSISTENCIA, COHESIVIDAD Y RESISTENCIA AL FLUJO DE JARBE DE AZÚCAR MORENA A DIFERENTES CONCETRACIONES

Tabla AXIX.1. Determinaciones instrumentales (TA-XT2i, accesorio «Back Extrusion Rig» de firmeza, consistencia, cohesividad y resistencia al flujo de jarabe de azúcar morena en la primera réplica

Tratamientos	Determinaciones No	Firmeza (g*)	Consistencia (g*·s)	Cohesividad (g*)	Resistencia al flujo (g*·s)
a_1b_0 (Jarabe de azúcar morena a 0 °Brix)	1	12,7000	187,6000	-7,1000	-5,1940
	2	12,7000	189,1000	-7,0000	-5,1410
	Promedio	**12,7000**	**188,3500**	**-7,0500**	**-5,1675**
a_1b_1 (Jarabe de azúcar morena a 20 °Brix)	1	13,7000	205,0000	-7,4000	-5,4960
	2	13,6000	203,4000	-7,0000	-5,0290
	Promedio	**13,6500**	**204,2000**	**-7,2000**	**-5,2625**
a_1b_2 (Jarabe de azúcar morena a 40 °Brix)	1	14,9000	223,1000	-8,0000	-5,9630
	2	14,9000	222,0000	-8,0000	-6,0790
	Promedio	**14,9000**	**222,5500**	**-8,0000**	**-6,0210**
a_1b_3 (Jarabe de azúcar morena a 60 °Brix)	1	16,4000	245,9000	-10,8000	-10,5800
	2	16,4000	242,4000	-10,6000	-10,5800
	Promedio	**16,4000**	**244,1500**	**-10,7000**	**-10,5800**

Tabla AXIX.2. Determinaciones instrumentales (TA-XT2i, accesorio «Back Extrusion Rig» de firmeza, consistencia, cohesividad y resistencia al flujo de jarabe de azúcar morena en la segunda réplica

Tratamientos	Determinaciones No	Firmeza (g*)	Consistencia (g*·s)	Cohesividad (g*)	Resistencia al flujo (g*·s)
a_1b_0 (Jarabe de azúcar morena a 0 °Brix)	1	12,7000	187,9000	-6,7000	-5,0220
	2	12,7000	191,6000	-6,7000	-4,9940
	Promedio	**12,7000**	**189,7500**	**-6,7000**	**-5,0080**
a_1b_1 (Jarabe de azúcar morena a 20 °Brix)	1	13,7000	205,2000	-7,0000	-5,2190
	2	13,6000	202,4000	-7,2000	-5,0370
	Promedio	**13,6500**	**203,8000**	**-7,1000**	**-5,1280**

Tabla AXIX.2. Determinaciones instrumentales (TA-XT2i, accesorio «Back Extrusion Rig» de firmeza, consistencia, cohesividad y resistencia al flujo de jarabe de azúcar morena en la segunda réplica (Continuación…)

Tratamientos	Determinaciones No	Firmeza (g*)	Consistencia (g*·s)	Cohesividad (g*)	Resistencia al flujo (g*·s)
a_1b_2 (Jarabe de azúcar morena a 40 °Brix)	1	14,9000	221,9000	-8,3000	-6,3760
	2	14,9000	221,5000	-7,7000	-5,7300
	Promedio	**14,9000**	**221,7000**	**-8,0000**	**-6,0530**
a_1b_3 (Jarabe de azúcar morena a 60 °Brix)	1	16,4000	242,5000	-10,1000	-9,2680
	2	16,4000	246,0000	-10,2000	-9,6190
	Promedio	**16,4000**	**244,2500**	**-10,1500**	**-9,4435**

Tabla AXIX.3. Determinaciones instrumentales (TA-XT2i, accesorio «Back Extrusion Rig» de firmeza, consistencia, cohesividad y resistencia al flujo de jarabe de azúcar morena en la tercera réplica

Tratamientos	Determinaciones No	Firmeza (g*)	Consistencia (g*·s)	Cohesividad (g*)	Resistencia al flujo (g*·s)
a_1b_0 (Jarabe de azúcar morena a 0 °Brix)	1	12,8000	188,1000	-7,1000	-5,2590
	2	12,7000	184,2000	-7,0000	-5,2180
	Promedio	**12,7500**	**186,1500**	**-7,0500**	**-5,2385**
a_1b_1 (Jarabe de azúcar morena a 20 °Brix)	1	13,7000	204,8000	-7,5000	-5,4960
	2	13,7000	200,6000	-7,2000	-5,2180
	Promedio	**13,7000**	**202,7000**	**-7,3500**	**-5,3570**
a_1b_2 (Jarabe de azúcar morena a 40 °Brix)	1	14,8000	218,9000	-8,5000	-6,3480
	2	14,9000	222,3000	-7,9000	-6,0480
	Promedio	**14,8500**	**220,6000**	**-8,2000**	**-6,1980**
a_1b_3 (Jarabe de azúcar morena a 60 °Brix)	1	16,5000	245,3000	-11,1000	-10,5700
	2	16,6000	246,6000	-10,8000	-10,4600
	Promedio	**16,5500**	**245,9500**	**-10,9500**	**-10,5150**

ANEXO XX

DETERMINACIONES INSTRUMENTALES (TA-XT2i, ACCESORIO «BACK EXTRUSION RIG»(A/BE)) DE FIRMEZA, CONSISTENCIA, COHESIVIDAD Y RESISTENCIA AL FLUJO DE JARBE DE AZÚCAR BLANCA A DIFERENTES CONCETRACIONES

Tabla AXX.1. Determinaciones instrumentales (TA-XT2i, accesorio «Back Extrusion Rig» de firmeza, consistencia, cohesividad y resistencia al flujo de jarabe de azúcar blanca en la primera réplica

Tratamientos	Determinaciones No	Firmeza (g*)	Consistencia (g*·s)	Cohesividad (g*)	Resistencia al flujo (g*·s)
a_2b_0 (Jarabe de azúcar blanca a 0 °Brix)	1	12,6000	192,0000	-7,0000	-5,1300
	2	12,7000	189,5000	-7,1000	-5,1580
	Promedio	**12,6500**	**190,7500**	**-7,0500**	**-5,1440**
a_2b_1 (Jarabe de azúcar morena a 20 °Brix)	1	13,6000	204,9000	-7,1000	-4,7940
	2	13,7000	207,2000	-6,7000	-4,6370
	Promedio	**13,6500**	**206,0500**	**-6,9000**	**-4,7155**
a_2b_2 (Jarabe de azúcar blanca a 40 °Brix)	1	15,1000	225,1000	-7,9000	-5,8890
	2	15,1000	222,4000	-7,9000	-5,8990
	Promedio	**15,1000**	**223,7500**	**-7,9000**	**-5,8940**
a_2b_3 (Jarabe de azúcar blanca a 60 °Brix)	1	16,5000	244,6000	-10,4000	-10,0100
	2	16,4000	247,0000	-9,6000	-9,1020
	Promedio	**16,4500**	**245,8000**	**-10,0000**	**-9,5560**

Tabla AXX.2. Determinaciones instrumentales (TA-XT2i, accesorio «Back Extrusion Rig» de firmeza, consistencia, cohesividad y resistencia al flujo de jarabe de azúcar blanca en la segunda réplica

Tratamientos	Determinaciones No	Firmeza (g*)	Consistencia (g*·s)	Cohesividad (g*)	Resistencia al flujo (g*·s)
a_2b_0 (Jarabe de azúcar blanca a 0 °Brix)	1	12,7000	188,8000	-6,7000	-4,8470
	2	12,6000	191,2000	-6,7000	-4,7880
	Promedio	**12,6500**	**190,0000**	**-6,7000**	**-4,8175**
a_2b_1 (Jarabe de azúcar morena a 20 °Brix)	1	13,8000	208,7000	-7,1000	-4,8800
	2	13,8000	206,3000	-6,8000	-4,6810
	Promedio	**13,8000**	**207,5000**	**-6,9500**	**-4,7805**

Tabla AXX.2. Determinaciones instrumentales (TA-XT2i, accesorio «Back Extrusion Rig» de firmeza, consistencia, cohesividad y resistencia al flujo de jarabe de azúcar blanca en la segunda réplica (Continuación…)

Tratamientos	Determinaciones No	Firmeza (g*)	Consistencia (g*·s)	Cohesividad (g*)	Resistencia al flujo (g*·s)
a_2b_2 (Jarabe de azúcar blanca a 40 °Brix)	1	14,8000	218,9000	-7,8000	-5,6950
	2	14,8000	218,5000	-7,8000	-5,7930
	Promedio	**14,8000**	**218,7000**	**-7,8000**	**-5,7440**
a_2b_3 (Jarabe de azúcar blanca a 60 °Brix)	1	16,5000	247,1000	-10,4000	-9,9670
	2	16,4000	245,9000	-10,1000	-9,7880
	Promedio	**16,4500**	**246,5000**	**-10,2500**	**-9,8875**

Tabla AXX.3. Determinaciones instrumentales (TA-XT2i, accesorio «Back Extrusion Rig» de firmeza, consistencia, cohesividad y resistencia al flujo de jarabe de azúcar blanca en la tercera réplica

Tratamientos	Determinaciones No	Firmeza (g*)	Consistencia (g*·s)	Cohesividad (g*)	Resistencia al flujo (g*·s)
a_2b_0 (Jarabe de azúcar blanca a 0 °Brix)	1	12,5000	187,3000	-7,1000	-5,2390
	2	12,6000	188,5000	-6,8000	-5,0000
	Promedio	**12,5500**	**187,9000**	**-6,9500**	**-5,1195**
a_2b_1 (Jarabe de azúcar morena a 20 °Brix)	1	13,8000	204,1000	-7,2000	-5,2960
	2	13,7000	203,4000	-7,0000	-4,9850
	Promedio	**13,7500**	**203,7500**	**-7,1000**	**-5,1405**
a_2b_2 (Jarabe de azúcar blanca a 40 °Brix)	1	14,9000	218,4000	-8,1000	-6,1720
	2	14,9000	220,7000	-8,2000	-6,1590
	Promedio	**14,9000**	**219,5500**	**-8,1500**	**-6,1655**
a_2b_3 (Jarabe de azúcar blanca a 60 °Brix)	1	16,3000	244,8000	-10,3000	-9,4320
	2	16,4000	243,7000	-10,0000	-9,4140
	Promedio	**16,3500**	**244,2500**	**-10,1500**	**-9,4230**

ANEXO XXI
RESULTADOS DE LA MEDICIÓN INSTRUMENTAL DE CONSISTENCIA POR RÉPLICA DE MIEL DE PANELA Y JARABES DE AZÚCAR A IFERENTES CONCENTRACIONES

Tabla AXXI.1. Resultados de la medición instrumental de consistencia, por réplica de miel de panela

Tratamientos	Réplicas	Firmeza (g*)	Consistencia (g*·s)	Cohesividad (g*)	Resistencia al flujo (g*·s)
Miel de panela a 0 °Brix	1	12,6000	192,1000	-7,7500	-5,7985
	2	12,6500	188,4500	-6,8000	-4,9055
	3	12,7500	190,3500	-6,8000	-5,1140
	Promedio	**12,6667**	**190,3000**	**-7,1167**	**-5,2727**
Miel de panela a 20 °Brix	1	13,7500	203,6000	-8,1500	-6,3855
	2	13,7000	203,7500	-7,5500	-5,5325
	3	13,7000	200,9000	-7,5500	-5,1890
	Promedio	**13,7167**	**202,7500**	**-7,7500**	**-5,7023**
Miel de panela a 40 °Brix	1	14,9500	222,1500	-8,6500	-7,0305
	2	14,9000	220,7000	-8,3500	-6,4815
	3	15,0000	221,6000	-8,5000	-6,6435
	Promedio	**14,9500**	**221,4833**	**-8,5000**	**-6,7185**
Miel de panela a 60 °Brix)	1	16,6500	249,8000	-10,7500	-10,7650
	2	16,4000	246,3500	-10,4000	-9,9940
	3	16,5500	245,3500	-10,6500	-10,3950
	Promedio	**16,5333**	**247,1667**	**-10,6000**	**-10,3847**

Tabla AXXI.2. Resultados de la medición instrumental de consistencia, por réplica de jarabe de azúcar morena

Tratamientos	Réplicas	Firmeza (g*)	Consistencia (g*·s)	Cohesividad (g*)	Resistencia al flujo (g*·s)
Jarabe de azúcar morena a 0 °Brix	1	12,7000	188,3500	-7,0500	-5,1675
	2	12,7000	189,7500	-6,7000	-5,0080
	3	12,7500	186,1500	-7,0500	-5,2385
	Promedio	**12,7167**	**188,0833**	**-6,9333**	**-5,1380**

Tabla AXXI.2. Resultados de la medición instrumental de consistencia, por réplica de jarabe de azúcar morena (Continuación…)

Tratamientos	Réplicas	Firmeza (g*)	Consistencia (g*·s)	Cohesividad (g*)	Resistencia al flujo (g*·s)
Jarabe de azúcar morena a 20 °Brix	1	13,6500	204,2000	-7,2000	-5,2625
	2	13,6500	203,8000	-7,1000	-51280
	3	13,7000	202,7000	-7,3500	-5,3570
	Promedio	**13,6667**	**203,5667**	**-7,2167**	**-5,2492**
Jarabe de azúcar morena a 40 °Brix	1	14,9000	222,5500	-8,0000	-6,0210
	2	14,9000	221,7000	-8,0000	-6,0530
	3	14,8500	220,6000	-8,2000	-6,1980
	Promedio	**14,8833**	**221,6167**	**-8,0667**	**-6,0907**
Jarabe de azúcar morena a 60 °Brix	1	16,4000	244,1500	-10,7000	-10,5800
	2	16,4000	244,2500	-10,1500	-9,4435
	3	16,5500	245,9500	-10,9500	-10,5150
	Promedio	**16,4500**	**244,7833**	**-10,6000**	**-10,1795**

Tabla AXXI.3. Resultados de la medición instrumental de consistencia, por réplica de jarabe de azúcar blanca

Tratamientos	Réplicas	Firmeza (g*)	Consistencia (g*·s)	Cohesividad (g*)	Resistencia al flujo (g*·s)
Jarabe de azúcar blanca a 0 °Brix	1	12,6000	190,7500	-7,0500	-5,1440
	2	12,6500	190,0000	-6,7000	-4,8175
	3	12,5500	187,9000	-6,9500	-5,1195
	Promedio	**12,6617**	**190,3000**	**-6,9000**	**-5,0270**
Jarabe de azúcar blanca a 20 °Brix	1	13,6500	206,0500	-6,9000	-4,7155
	2	13,8000	207,5000	-6,9500	-4,7805
	3	13,7500	203,7500	-7,1000	-5,1405
	Promedio	**13,7333**	**205,7667**	**-6,9833**	**-4,8788**
Jarabe de azúcar blanca a 40 °Brix	1	15,1000	223,7500	-7,9000	-5,8940
	2	14,9800	218,7000	-7,8000	-5,7440
	3	14,9000	219,5500	-8,1500	-6,1655
	Promedio	**14,9333**	**220,6667**	**-7,9500**	**-5,9345**
Jarabe de azúcar blanca a 60 °Brix)	1	16,4500	245,8000	-10,0000	-9,5560
	2	16,4500	246,5000	-10,2500	-9,8775
	3	16,3500	245,2500	-10,1500	-9,4230
	Promedio	**16,4167**	**245,5167**	**-10,1333**	**-9,6188**

ANEXO XXII

TIEMPOS DE FLUJO A TRAVÉS DEL VISCOSÍMETRO DE TUBO CAPILAR CANNON-FENSKE, GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LA MUESTRA Y VISCOSIDAD ABSOLUTA DE MIEL DE PANELA A DIFERENTES CONCENTRACIONES

Tabla AXXII.1. Tiempos de flujo a través del viscosímetro de tubo capilar Cannon-Fenske, gravedad específica de la muestra y viscosidad absoluta de miel de panela en la primera réplica

Tratamientos	Determinación No.	Tiempo recorrido agua (s)	Tiempo recorrido muestra (s)	Gravedad específica (muestra)	Viscosidad absoluta (Pa·s)
a_0b_0 (Miel de panela a 0 °Brix)	1	243,0000	243,0000	1,0000	1,0020E-03
	2	243,0000	243,0000	1,0000	1,0020E-03
	3	243,0000	243,0000	1,0000	1,0020E-03
	Promedio	**243,0000**	**243,0000**	**1,0000**	**1,0020E-03**
a_0b_1 (Miel de panela a 20 °Brix)	1	243,0000	432,0000	1,0789	1,9220E-03
	2	243,0000	434,0000	1,1003	1,9690E-03
	3	243,0000	433,0000	1,0828	1,9334E-03
	Promedio	**243,0000**	**433,0000**	**1,0874**	**1,9415E-03**
a_0b_2 (Miel de panela a 40 °Brix)	1	67,0000	347,0000	1,1923	6,1876E-03
	2	67,0000	347,0000	1,1961	6,2069E-03
	3	67,0000	345,0000	1,2013	6,1980E-03
	Promedio	**67,0000**	**346,3333**	**1,1966**	**6,1975E-03**
a_0b_3 (Miel de panela a 60 °Brix)	1	13,0000	592,0000	1,3013	5,9380E-02
	2	13,0000	592,0000	1,2877	5,8758E-02
	3	12,0000	591,0000	1,3268	6,5475E-02
	Promedio	**12,6667**	**591,6667**	**1,3053**	**6,1092E-02**

Tabla AXXII.2. Tiempos de flujo a través del viscosímetro de tubo capilar Cannon-Fenske, gravedad específica de la muestra y viscosidad absoluta de miel de panela en la segunda réplica

Tratamientos	Determinación No.	Tiempo recorrido agua (s)	Tiempo recorrido muestra (s)	Gravedad específica (muestra)	Viscosidad absoluta (Pa·s)
a_0b_0 (Miel de panela a 0 °Brix)	1	228,0000	228,0000	1,0000	1,0020E-03
	2	228,0000	228,0000	1,0000	1,0020E-03
	3	228,0000	228,0000	1,0000	1,0020E-03
	Promedio	**228,0000**	**228,0000**	**1,0000**	**1,0020E-03**

Tabla AXXII.2. Tiempos de flujo a través del viscosímetro de tubo capilar Cannon-Fenske, gravedad específica de la muestra y viscosidad absoluta de miel de panela en la segunda réplica (Continuación…)

Tratamientos	Determinación No.	Tiempo recorrido agua (s)	Tiempo recorrido muestra (s)	Gravedad específica (muestra)	Viscosidad absoluta (Pa·s)
a_0b_1 (Miel de panela a 20 °Brix)	1	228,0000	406,0000	1,0844	1,9348E-03
	2	228,0000	408,0000	1,0843	1,9441E-03
	3	228,0000	408,0000	1,0848	1,9450E-03
	Promedio	**228,0000**	**407,3333**	**1,0845**	**1,9413E-03**
a_0b_2 (Miel de panela a 40 °Brix)	1	64,0000	335,0000	1,1813	6,1959E-03
	2	64,0000	334,0000	1,1754	6,1465E-03
	3	63,0000	334,0000	1,1749	6,2414E-03
	Promedio	**63,6667**	**344,3333**	**1,1772**	**6,1946E-03**
a_0b_3 (Miel de panela a 60 °Brix)	1	12,0000	551,0000	1,2849	5,9117E-02
	2	12,0000	551,0000	1,2969	5,9670E-02
	3	12,0000	551,0000	1,2909	5,9393E-02
	Promedio	**12,0000**	**551,0000**	**1,2909**	**5,9393E-02**

Tabla AXXII.3. Tiempos de flujo a través del viscosímetro de tubo capilar Cannon-Fenske, gravedad específica de la muestra y viscosidad absoluta de miel de panela en la tercera réplica

Tratamientos	Determinación No.	Tiempo recorrido agua (s)	Tiempo recorrido muestra (s)	Gravedad específica (muestra)	Viscosidad absoluta (Pa·s)
a_0b_0 (Miel de panela a 0 °Brix)	1	229,0000	229,0000	1,0000	1,0020E-03
	2	227,0000	227,0000	1,0000	1,0020E-03
	3	227,0000	227,0000	1,0000	1,0020E-03
	Promedio	**227,6667**	**227,6667**	**1,0000**	**1,0020E-03**
a_0b_1 (Miel de panela a 20 °Brix)	1	229,0000	409,0000	1,0843	1,9404E-03
	2	227,0000	409,0000	1,0832	1,9557E-03
	3	227,0000	409,0000	1,0845	1,9578E-03
	Promedio	**227,66667**	**409,0000**	**1,0840**	**1,9513E-03**
a_0b_2 (Miel de panela a 40 °Brix)	1	64,0000	335,0000	1,1759	6,1675E-03
	2	63,0000	334,0000	1,1757	6,2456E-03
	3	63,0000	334,0000	1,1818	6,2781E-03
	Promedio	**63,3333**	**334,3333**	**1,1778**	**6,2304E-03**
a_0b_3 (Miel de panela a 60 °Brix)	1	11,0000	546,0000	1,2838	6,3851E-02
	2	12,0000	546,0000	1,2846	5,8352E-02
	3	11,0000	543,0000	1,2913	6,3872E-02
	Promedio	**11,3333**	**544,3333**	**1,2866**	**6,2025E-02**

ANEXO XXIII

TIEMPOS DE FLUJO A TRAVÉS DEL VISCOSÍMETRO DE TUBO CAPILAR CANNON-FENSKE, GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LA MUESTRA Y VISCOSIDAD ABSOLUTA DE JARABE DE AZÚCAR MORENA A DIFERENTES CONCENTRACIONES

Tabla AXXIII.1. Tiempos de flujo a través del viscosímetro de tubo capilar Cannon-Fenske, gravedad específica de la muestra y viscosidad absoluta de jarabe de azúcar morena en la primera réplica

Tratamientos	Determinación No.	Tiempo recorrido agua (s)	Tiempo recorrido muestra (s)	Gravedad específica (muestra)	Viscosidad absoluta (Pa·s)
a_1b_0 (Jarabe de azúcar morena a 0 °Brix)	1	228,0000	228,0000	1,0000	1,0020E-03
	2	228,0000	228,0000	1,0000	1,0020E-03
	3	228,0000	228,0000	1,0000	1,0020E-03
	Promedio	**228,0000**	**228,0000**	**1,0000**	**1,0020E-03**
a_1b_1 (Jarabe de azúcar morena a 20 °Brix)	1	228,0000	407,0000	1,0750	1,9228E-03
	2	228,0000	404,0000	1,0837	1,9241E-03
	3	228,0000	404,0000	1,0839	1,9244E-03
	Promedio	**228,0000**	**405,0000**	**1,0809**	**1,9238E-03**
a_1b_2 (Jarabe de azúcar morena a 40 °Brix)	1	64,0000	330,0000	1,1702	6,0459E-03
	2	64,0000	330,0000	1,1850	6,1224E-03
	3	64,0000	330,0000	1,1831	6,1126E-03
	Promedio	**64,0000**	**330,0000**	**1,1794**	**6,0936E-03**
a_1b_3 (Jarabe de azúcar morena a 60 °Brix)	1	12,0000	524,0000	1,2546	5,4894E-02
	2	12,0000	524,0000	1,2672	5,5445E-02
	3	11,0000	524,0000	1,2507	5,9698E-02
	Promedio	**11,6667**	**524,0000**	**1,2575**	**5,6679E-02**

Tabla AXXIII.2. Tiempos de flujo a través del viscosímetro de tubo capilar Cannon-Fenske, gravedad específica de la muestra y viscosidad absoluta de jarabe de azúcar morena en la segunda réplica

Tratamientos	Determinación No.	Tiempo recorrido agua (s)	Tiempo recorrido muestra (s)	Gravedad específica (muestra)	Viscosidad absoluta (Pa·s)
a_1b_0 (Jarabe de azúcar morena a 0 °Brix)	1	228,0000	228,0000	1,0000	1,0020E-03
	2	229,0000	229,0000	1,0000	1,0020E-03
	3	228,0000	228,0000	1,0000	1,0020E-03
	Promedio	**228,3333**	**228,3333**	**1,0000**	**1,0020E-03**

Tabla AXXIII.2. Tiempos de flujo a través del viscosímetro de tubo capilar Cannon-Fenske, gravedad específica de la muestra y viscosidad absoluta de jarabe de azúcar morena en la segunda réplica (Continuación…)

Tratamientos	Determinación No.	Tiempo recorrido agua (s)	Tiempo recorrido muestra (s)	Gravedad específica (muestra)	Viscosidad absoluta (Pa·s)
a_1b_1 (Jarabe de azúcar morena a 20 °Brix)	1	228,0000	406,0000	1,0840	1,9341E-03
	2	229,0000	406,0000	1,0815	1,9214E-03
	3	228,0000	407,0000	1,0770	1,9264E-03
	Promedio	**228,3333**	**406,3333**	**1,0808**	**1,9273E-03**
a_1b_2 (Jarabe de azúcar morena a 40 °Brix)	1	64,0000	332,0000	1,1832	6,1501E-03
	2	64,0000	332,0000	1,1689	6,0758E-03
	3	64,0000	332,0000	1,1665	6,0633E-03
	Promedio	**64,0000**	**332,0000**	**1,1729**	**6,0964E-03**
a_1b_3 (Jarabe de azúcar morena a 60 °Brix)	1	12,0000	524,0000	1,2881	5,6360E-02
	2	12,0000	523,0000	1,2802	5,5907E-02
	3	12,0000	523,0000	1,2914	5,6396E-02
	Promedio	**12,0000**	**523,3333**	**1,2866**	**5,6221E-02**

Tabla AXXIII.3. Tiempos de flujo a través del viscosímetro de tubo capilar Cannon-Fenske, gravedad específica de la muestra y viscosidad absoluta de jarabe de azúcar morena en la tercera réplica

Tratamientos	Determinación No.	Tiempo recorrido agua (s)	Tiempo recorrido muestra (s)	Gravedad específica (muestra)	Viscosidad absoluta (Pa·s)
a_1b_0 (Jarabe de azúcar morena a 0 °Brix)	1	234,0000	234,0000	1,0000	1,0020E-03
	2	232,0000	232,0000	1,0000	1,0020E-03
	3	235,0000	235,0000	1,0000	1,0020E-03
	Promedio	**233,6667**	**233,6667**	**1,0000**	**1,0020E-03**
a_1b_1 (Jarabe de azúcar morena a 20 °Brix)	1	234,0000	415,0000	1,0820	1,9228E-03
	2	232,0000	411,0000	1,0723	1,9034E-03
	3	235,0000	412,0000	1,0853	1,9065E-03
	Promedio	**233,6667**	**412,66667**	**1,799**	**1,9109E-03**
a_1b_2 (Jarabe de azúcar morena a 40 °Brix)	1	64,0000	330,0000	1,1626	6,0066E-03
	2	64,0000	330,0000	1,1836	6,1151E-03
	3	64,0000	329,0000	1,1844	6,1007E-03
	Promedio	**64,0000**	**329,6667**	**1,1769**	**6,0742E-03**
a_1b_3 (Jarabe de azúcar morena a 60 °Brix)	1	12,0000	524,0000	1,2860	5,6268E-02
	2	12,0000	523,0000	1,2893	5,6304E-02
	3	12,0000	523,0000	1,2790	5,5855E-02
	Promedio	**12,0000**	**523,3333**	**1,2848**	**6,6142E-02**

ANEXO XXIV

TIEMPOS DE FLUJO A TRAVÉS DEL VISCOSÍMETRO DE TUBO CAPILAR CANNON-FENSKE, GRAVEDAD ESPECÍFICA DE LA MUESTRA Y VISCOSIDAD ABSOLUTA DE JARABE DE AZÚCAR BLANCA A DIFERENTES CONCENTRACIONES

Tabla AXXIV.1. Tiempos de flujo a través del viscosímetro de tubo capilar Cannon-Fenske, gravedad específica de la muestra y viscosidad absoluta de jarabe de azúcar blanca en la primera réplica

Tratamientos	Determinación No.	Tiempo recorrido agua (s)	Tiempo recorrido muestra (s)	Gravedad específica (muestra)	Viscosidad absoluta (Pa·s)
a_2b_0 (Jarabe de azúcar blanca a 0 °Brix)	1	228,0000	228,0000	1,0000	1,0020E-03
	2	228,0000	228,0000	1,0000	1,0020E-03
	3	228,0000	228,0000	1,0000	1,0020E-03
	Promedio	**228,0000**	**228,0000**	**1,0000**	**1,0020E-03**
a_2b_1 (Jarabe de azúcar morena a 20 °Brix)	1	228,0000	398,0000	1,0774	1,8845E-03
	2	228,0000	398,0000	1,0764	1,8827E-03
	3	228,0000	398,0000	1,0908	1,9079E-03
	Promedio	**228,0000**	**398,0000**	**1,0815**	**1,8917E-03**
a_2b_2 (Jarabe de azúcar blanca a 40 °Brix)	1	64,0000	314,0000	1,1702	5,7528E-03
	2	64,0000	314,0000	1,1850	5,8255E-03
	3	64,0000	315,0000	1,1831	5,8347E-03
	Promedio	**64,0000**	**314,3333**	**1,1794**	**5,8043E-03**
a_2b_3 (Jarabe de azúcar blanca a 60 °Brix)	1	12,0000	459,0000	1,3010	4,9863E-02
	2	12,0000	460,0000	1,2800	4,9165E-02
	3	12,0000	460,0000	1,2848	4,9349E-02
	Promedio	**12,0000**	**459,6667**	**1,2886**	**4,9459E-02**

Tabla AXXIV.2. Tiempos de flujo a través del viscosímetro de tubo capilar Cannon-Fenske, gravedad específica de la muestra y viscosidad absoluta de jarabe de azúcar blanca en la segunda réplica

Tratamientos	Determinación No.	Tiempo recorrido agua (s)	Tiempo recorrido muestra (s)	Gravedad específica (muestra)	Viscosidad absoluta (Pa·s)
a_2b_0 (Jarabe de azúcar blanca a 0 °Brix)	1	228,0000	228,0000	1,0000	1,0020E-03
	2	228,0000	228,0000	1,0000	1,0020E-03
	3	227,0000	227,0000	1,0000	1,0020E-03
	Promedio	**227,6667**	**227,6667**	**1,0000**	**1,0020E-03**

Tabla AXXIV.2. Tiempos de flujo a través del viscosímetro de tubo capilar Cannon-Fenske, gravedad específica de la muestra y viscosidad absoluta de jarabe de azúcar blanca en la segunda réplica (Continuación…)

Tratamientos	Determinación No.	Tiempo recorrido agua (s)	Tiempo recorrido muestra (s)	Gravedad específica (muestra)	Viscosidad absoluta (Pa·s)
a_2b_1 (Jarabe de azúcar morena a 20 °Brix)	1	228,0000	397,0000	1,0861	1,8949E-03
	2	228,0000	398,0000	1,0701	1,8717E-03
	3	227,0000	398,0000	1,0901	1,9151E-03
	Promedio	**227,6667**	**397,6667**	**1,0821**	**1,8939E-03**
a_2b_2 (Jarabe de azúcar blanca a 40 °Brix)	1	64,0000	323,0000	1,1792	5,9632E-03
	2	64,0000	324,0000	1,1759	5,9649E-03
	3	64,0000	323,0000	1,1731	5,9323E-03
	Promedio	**64,0000**	**323,3333**	**1,1761**	**5,9535E-03**
a_2b_3 (Jarabe de azúcar blanca a 60 °Brix)	1	12,0000	459,0000	1,2859	4,9284E-02
	2	12,0000	460,0000	1,2748	4,8965E-02
	3	12,0000	460,0000	1,2993	4,9906E-02
	Promedio	**12,0000**	**459,6667**	**1,2867**	**4,9385E-02**

Tabla AXXIV.3. Tiempos de flujo a través del viscosímetro de tubo capilar Cannon-Fenske, gravedad específica de la muestra y viscosidad absoluta de jarabe de azúcar blanca en la tercera réplica

Tratamientos	Determinación No.	Tiempo recorrido agua (s)	Tiempo recorrido muestra (s)	Gravedad específica (muestra)	Viscosidad absoluta (Pa·s)
a_2b_0 (Jarabe de azúcar blanca a 0 °Brix)	1	228,0000	228,0000	1,0798	1,0820E-03
	2	228,0000	228,0000	1,0889	1,0911E-03
	3	228,0000	228,0000	1,0781	1,0803E-03
	Promedio	**228,0000**	**228,0000**	**1,0823**	**1,0844E-03**
a_2b_1 (Jarabe de azúcar morena a 20 °Brix)	1	228,0000	399,0000	1,0798	1,8934E-03
	2	228,0000	399,0000	1,0889	1,9094E-03
	3	228,0000	398,0000	1,0781	1,8857E-03
	Promedio	**228,0000**	**398,6667**	**1,0823**	**1,8962E-03**
a_2b_2 (Jarabe de azúcar blanca a 40 °Brix)	1	64,0000	320,0000	1,1753	5,8883E-03
	2	63,0000	320,0000	1,1720	5,9649E-03
	3	63,0000	319,0000	1,1756	5,9645E-03
	Promedio	**63,3333**	**319,6667**	**1,1743**	**5,9392E-03**
a_2b_3 (Jarabe de azúcar blanca a 60 °Brix)	1	12,0000	459,0000	1,2838	4,9204E-02
	2	12,0000	459,0000	1,2840	4,9211E-02
	3	12,0000	460,0000	1,2992	4,9518E-02
	Promedio	**12,0000**	**459,3333**	**1,2857**	**4,9311E-02**

ANEXO XXV

TIEMPOS DE FLUJO A TRAVÉS DEL VISCOSÍMETRODE TUBO CAPILAR CANNON-FENSKE, GRAVEDDA ESPECÍFICA Y VISCOSIDAD ABSOLUTA, POR RÉPLICAS DE MIEL DE PANELA Y JARABES DE AZÚCAR A DIFERENTES CONCENTRACIONES

Tabla AXXV.1. Tiempos de flujo a través del viscosímetro de tubo capilar Cannon-Fenske, gravedad específica de la muestra y viscosidad absoluta, por réplicas de miel de panela a diferentes concentraciones

Tratamientos	Réplica	Tiempo recorrido agua (s)	Tiempo recorrido muestra (s)	Gravedad específica (muestra)	Viscosidad absoluta (Pa·s)
Miel de panela a 0 °Brix	1	243,0000	243,0000	1,0000	1,0020E-03
	2	228,0000	228,0000	1,0000	1,0020E-03
	3	227,6667	227,6667	1,0000	1,0020E-03
	Promedio	**232,8889**	**232,8889**	**1,0000**	**1,0020E-03**
Miel de panela a 20 °Brix	1	243,0000	433,0000	1,0874	1,9415E-03
	2	228,0000	407,3333	1,0845	1,9413E-03
	3	227,6667	409,0000	1,0840	1,9513E-03
	Promedio	**232,8889**	**416,4444**	**1,0853**	**1,9447E-03**
Miel de panela a 40 °Brix	1	67,0000	346,3333	1,1966	6,1975E-03
	2	63,6667	334,3333	1,1772	6,1946E-03
	3	63,3333	334,3333	1,1778	6,2304E-03
	Promedio	**64,6667**	**338,3333**	**1,1839**	**6,2075E-03**
Miel de panela a 60 °Brix	1	12,6667	591,6667	1,3053	6,1092E+01
	2	12,0000	551,0000	1,2909	5,9393E-02
	3	11,3333	544,3333	1,2866	6,2025E-02
	Promedio	**12,0000**	**562,3333**	**1,2943**	**2,0405E+01**

Tabla AXXV.2. Tiempos de flujo a través del viscosímetro de tubo capilar Cannon-Fenske, gravedad específica de la muestra y viscosidad absoluta, por réplicas de jarabe de azúcar morena a diferentes concentraciones

Tratamientos	Réplica	Tiempo recorrido agua (s)	Tiempo recorrido muestra (s)	Gravedad específica (muestra)	Viscosidad absoluta (Pa·s)
Jarabe de azúcar morena a 0 °Brix	1	228,0000	228,0000	1,0000	1,0020E-03
	2	228,3333	228,3333	1,0000	1,0020E-03
	3	233,6667	233,6667	1,0000	1,0020E-03
	Promedio	**230,0000**	**230,0000**	**1,0000**	**1,0020E-03**

Tabla AXXV.2. Tiempos de flujo a través del viscosímetro de tubo capilar Cannon-Fenske, gravedad específica de la muestra y viscosidad absoluta, por réplicas de jarabe de azúcar morena a diferentes concentraciones (Continuación…)

Tratamientos	Réplica	Tiempo recorrido agua (s)	Tiempo recorrido muestra (s)	Gravedad específica (muestra)	Viscosidad absoluta (Pa·s)
Jarabe de azúcar morena a 20 °Brix	1	228,0000	405,0000	1,0809	1,9238E-03
	2	228,3333	406,3333	1,0808	1,9273E-03
	3	233,6667	412,6667	1,0799	1,9109E-03
	Promedio	**230,0000**	**408,0000**	**1,0805**	**1,9207E-03**
Jarabe de azúcar morena a 40 °Brix	1	64,0000	330,0000	1,1794	6,0936E-03
	2	64,0000	332,0000	1,1729	6,0964E-03
	3	64,0000	329,6667	1,1769	6,0742E-03
	Promedio	**64,0000**	**330,5556**	**1,1764**	**6,0881E-03**
Jarabe de azúcar morena a 60 °Brix	1	11,6667	524,0000	1,2575	5,6679E+01
	2	12,0000	523,3333	1,2866	5,6221E-02
	3	12,0000	523,3333	1,2848	5,6142E-02
	Promedio	**11,8889**	**523,5556**	**1,2763**	**5,6347E-02**

Tabla AXXV.3. Tiempos de flujo a través del viscosímetro de tubo capilar Cannon-Fenske, gravedad específica de la muestra y viscosidad absoluta, por réplicas de jarabe de azúcar blanca a diferentes concentraciones

Tratamientos	Réplica	Tiempo recorrido agua (s)	Tiempo recorrido muestra (s)	Gravedad específica (muestra)	Viscosidad absoluta (Pa·s)
Jarabe de azúcar blanca a 0 °Brix	1	228,0000	228,0000	1,0000	1,0020E-03
	2	227,6667	227,6667	1,0000	1,0020E-03
	3	228,0000	228,0000	1,0000	1,0020E-03
	Promedio	**227,8889**	**227,8889**	**1,0000**	**1,0020E-03**
Jarabe de azúcar blanca a 20 °Brix	1	228,0000	398,0000	1,0815	1,8917E-03
	2	227,6667	397,6667	1,0821	1,8939E-03
	3	228,0000	398,6667	1,0823	1,8962E-03
	Promedio	**227,8889**	**398,1111**	**1,0820**	**1,8939E-03**
Jarabe de azúcar blanca a 40 °Brix	1	64,0000	314,3333	1,1794	5,8043E-03
	2	64,0000	323,3333	1,1761	5,9535E-03
	3	63,3333	319,6667	1,1743	5,9392E-03
	Promedio	**63,7778**	**319,1111**	**1,1766**	**5,8990E-03**
Jarabe de azúcar blanca a 60 °Brix	1	12,0000	459,6667	1,2886	4,9459E+01
	2	12,0000	459,6667	1,2867	4,9385E-02
	3	12,0000	459,3333	1,2857	4,9311E-02
	Promedio	**12,0000**	**459,5556**	**1,2870**	**4,9385E-02**

ANEXO XXVI

ANÁLISIS DE VARIANZA PARA LA VISCOSIDAD Y CONSISTENCIA EN MIEL DE PANELA Y JARABES DE AZÚCAR EN BASE EN EL TIPO DE MUESTRA Y CONCENTRACIÓN

Tabla AXXVI.1. Análisis de varianza para la viscosidad y consistencia en miel de panela y jarabes de azúcar

	FV	SC	GL	CM	Cociente F	P (5%)
Viscosidad TXT	TOTAL	4,11E+09	35			
	A: Muestra	7,51E+07	2	3,76E+07	38,43	0,00*
	B: Concentración	3,95E+09	3	1,32E+09	1 347,77	0,00*
	A*B	5,61E+07	6	9,36E+06	9,57	0,00*
	Error	2,35E+07	24	9,77E+05		
Viscosidad Ecuación	TOTAL	7,13E+06	35			
	A: Muestra	2,65E+05	2	1,32E+05	4,73	0,02
	B: Concentración	5,98E+06	3	1,99E+06	71,16	0,00*
	A*B	2,1248E+05	6	3,54E+04	1,27	0,31
	Error	6,7180E+05	24	2,80E+04		
Viscosidad Cannon	TOTAL	1,90E-02	35			
	A: Muestra	5,34E-05	2	2,67E-05	167,80	0,00*
	B: Concentración	1,88E-02	3	6,25E-03	39 285,94	0,00*
	A*B	1,48E-04	6	2,46E-05	154,60	0,00*
	Error	3,82E-06	24	1,59E-07		
Consistencia	TOTAL	1,60E-02	35			
	A: Muestra	6,26E-06	2	3,13E-06	1,17	0,33
	B: Concentración	1,59E-02	3	5,31E-03	1 985,47	0,00*
	A*B	2,65E-05	6	4,41E-06	1,65	0,18
	Error	6,42E-05	24	2,67E-06		

*Existe diferencia significativa para 95%. FV=Fuente de variación. SC=Sume de cuadrados. GL=Grados de libertad. CM=Cuadrado medio. Cociente F=Valor F calculado. P=Probabilidad al 95% de confianza

ANEXO XXVII

CORRELACIÓN DE LAS MEDICIONES INSTRUMENTALES DE VISCOSIDAD (ÁREA BAJO LA CURVA) VERSUS VISCOSIDAD ABSOLUTA EN FORMA DE TABLA Y GRÁFICO

Tabla AXXVII.1. Valores de los coeficientes del modelo doble inverso

Parámetros	Mínimos cuadrados Estimados	Estándar Error	Estadístico T	Valor – P
Intercepto (a)	2,3720E-05	9,5030E-07	24,9602	0,0000
Pendiente (b)	3,7284E-08	1,6700E-09	22,3253	0,0000

Tabla AXXVII.2. Análisis de varianza del modelo doble inverso

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón – F	Valor – P
Fuente	7,1440E-09	1	7,1440E-09	498,4200	0,0000
Modelo	4,8734E-10	34	1,4333E-11		
Residuo	7,6314E-09	35			

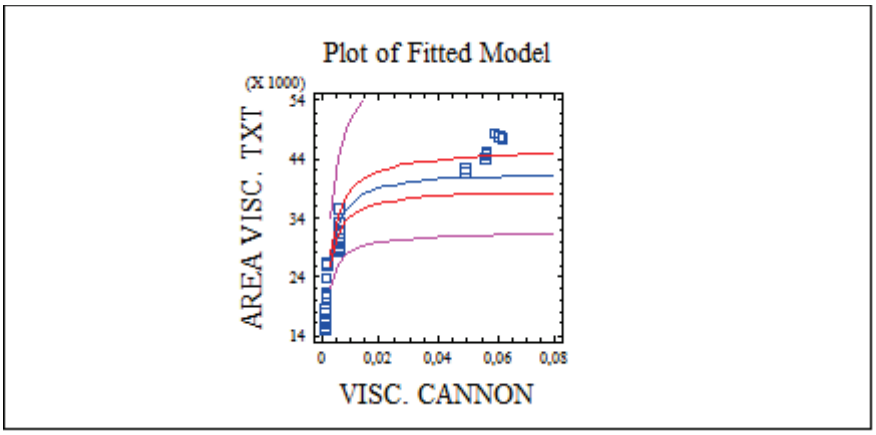

Figura AXXVII.1. Relación significativa entre los valores de Visc. TXT y Visc. Cannon, valores que se ajustaron al modelo doble inverso

ANEXO XXVIII
CORRELACIÓN DE LAS MEDICIONES INSTRUMENTALES DE VISCOSIDAD CALCULADA POR DIFERENCIA DE ESFUERZO INSTRUMENTAL VERSUS VISCOSIDAD ABSOLUTA EN FORMA DE TABLA Y GRÁFICO

Tabla AXXVIII.1. Valores de los coeficientes del modelo curva-s

Parámetros	Mínimos cuadrados Estimados	Estándar Error	Estadístico T	Valor – P
Intercepto (a)	7,3558	4,1000E-02	179,5170-	0,0000
Pendiente (b)	-0,0011	7,2001E-05	15,6278	0,0000

Tabla AXXVIII.2. Análisis de varianza del modelo curva-s

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón – F	Valor – P
Fuente	6,5082	1	6,5082	244,23	0,0000
Modelo	0,9060	34	0,0266		
Residuo	7,4143	35			

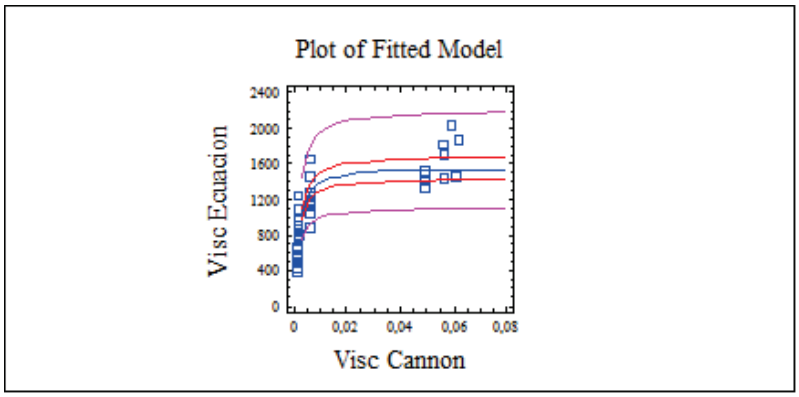

Figura AXXVIII.1. Relación significativa entre los valores de Visc. Ecuación y Visc. Cannon, valores que se ajustaron al modelo curva-s

Tabla AXXVIII.3. Valores de los coeficientes del modelo doble inverso

Parámetros	Mínimos cuadrados Estimados	Estándar Error	Estadístico T	Valor – P
Intercepto (a)	5,6965E-04	5,1978E-05	10,9595	0,0000
Pendiente (b)	1,3565E-06	9,1345E-08	14,8505	0,0000

Tabla AXXVIII.4. Análisis de varianza del modelo doble inverso

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón – F	Valor – P
Fuente	9,46E-06	1	9,46E-06	220,54	0,00
Modelo	1,46E-06	34	4,29E-08		
Residuo	1,09E-05	35			

ANEXO XXIX
CORRELACIÓN DE LAS MEDICIONES INSTRUMENTALES DE VISCOSIDAD (ÁREA BAJO LA CURVA) VERSUS CONSISTENCIA EN FORMA DE TABLA Y GRÁFICO

Tabla AXXIX.1. Valores de los coeficientes del modelo matemático curva-s

Parámetros	Mínimos cuadrados Estimados	Estándar Error	Estadístico T	Valor – P
Intercepto (a)	13,9846	0,1471	95,0963	0,0000
Pendiente (b)	-0,8053	0,0312	-25,8155	0,0000

Tabla AXXIX.2. Análisis de varianza del modelo matemático curva-s

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón – F	Valor – P
Fuente	4,7679	1	4,7679	666,4400	0,0000
Modelo	0,2432	34	0,0072		
Residuo	5,0111	35			

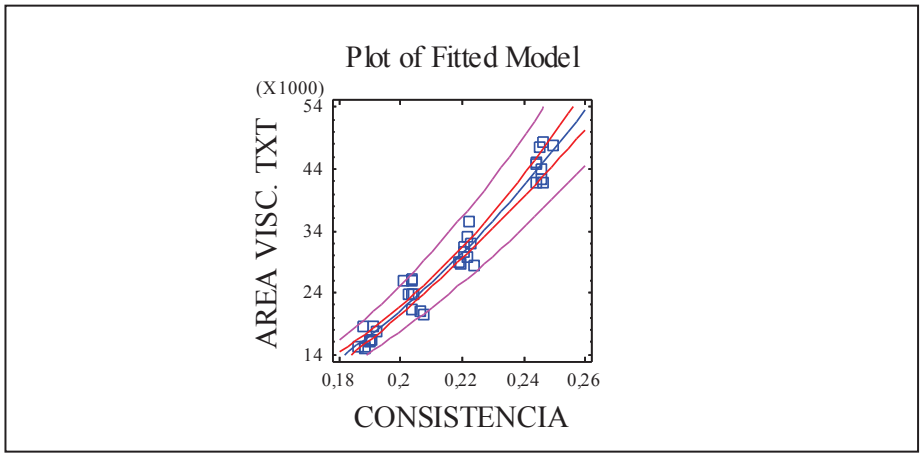

Figura AXXIX.1. Relación significativa entre los valores de Visc. TXT y Consistencia, valores que se ajustaron al modelo curva-s

ANEXO XXX
CORRELACIÓN DE LAS MEDICIONES INSTRUMENTALES DE VISCOSIDAD CALCULADA POR DIFERENCIA DE ESFUERZO INSTRUMENTAL VERSUS CONSISTENCIA EN FORMA DE TABLA Y GRÁFICO

Tabla AXXX.1. Valores de los coeficientes del modelo curva-s

Parámetros	Mínimos cuadrados Estimados	Estándar Error	Estadístico T	Valor – P
Intercepto (a)	11,2081	0,3199	35,0407	0,0000
Pendiente (b)	-0,9230	0,0679	-13,6035	0,0000

Tabla AXXX.2. Análisis de varianza del modelo matemático curva-s

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón – F	Valor – P
Fuente	6,2635	1	6,2635	185,0600	0,0000
Modelo	1,1508	34	0,0338		
Residuo	7,4143	35			

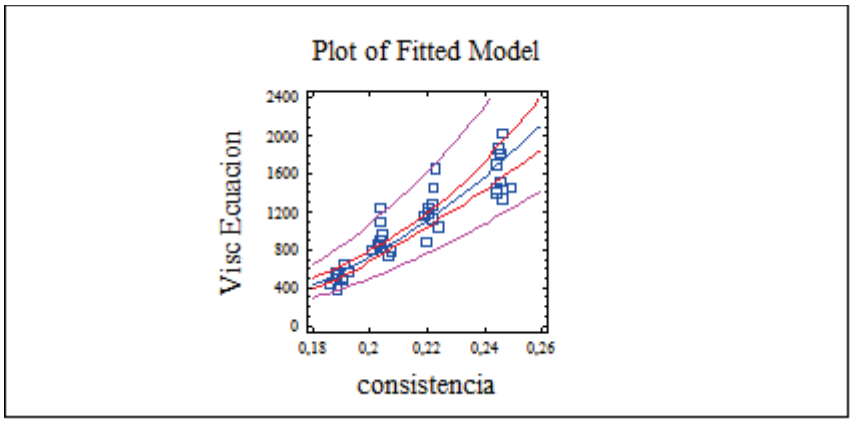

Figura AXXX.1. Relación significativa entre los valores de Visc. Ecuación y Consistencia, valores que se ajustaron al modelo curva-s

ANEXO XXXI

CORRELACIÓN DE LAS MEDICIONES INSTRUMENTALES DE VISCOSIDAD (ÁREA BAJO LA CURVA) VERSUS VISCOSIDAD ABSOLUTA EN MIEL DE PANELA EN FORMA DE TABLA Y GRÁFICO

Tabla AXXXI.1. Valores de los coeficientes del modelo matemático doble inverso

Parámetros	Mínimos cuadrados Estimados	Estándar Error	Estadístico T	Valor – P
Intercepto (a)	2,1284E-05	1,3798E-06	15,4254	0,0000
Pendiente (b)	3,8728E-08	2,4329E-09	15,9184	0,0000

Tabla AXXXI.2. Análisis de varianza del modelo doble inverso

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón – F	Valor – P
Fuente	2,5775E-09	1	2,5775E-09	253,4000	0,0000
Modelo	1,0172E-10	10	1,0172E-11		
Residuo	2,6792E-09	11			

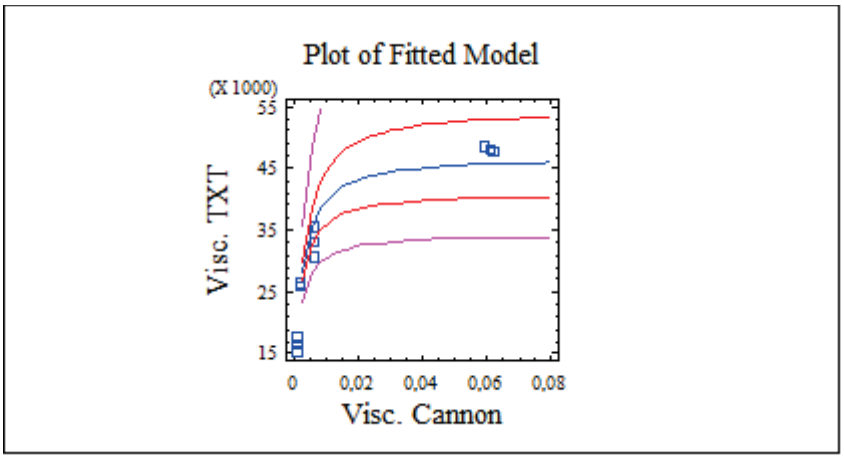

Figura AXXXI.1. Relación significativa entre los valores de Visc. TXT y Visc, Cannon, valores que se ajustaron al modelo doble inverso

ANEXO XXXII

CORRELACIÓN DE LAS MEDICIONES INSTRUMENTALES DE VISCOSIDAD CALCULADA POR DIFERENCIA DE ESFUERZO INSTRUMENTAL VERSUS VISCOSIDAD ABSOLUTA EN MIEL DE PANELA EN FORMA DE TABLA Y GRÁFICO

Tabla AXXXII.1. Valores de los coeficientes del modelo curva-s

Parámetros	Mínimos cuadrados Estimados	Estándar Error	Estadístico T	Valor - P
Intercepto (a)	7,4683E+00	7,1800E+02	104,0480	0,0000
Pendiente (b)	-1,2857E-03	1,2656E-04	-10,1592	0,0000

Tabla AXXXII.2. Análisis de varianza del modelo curva-s

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón – F	Valor – P
Fuente	2,8408	1	2,8408	103,2100	0,0000
Modelo	0,2753	10	0,0275		
Residuo	3,1161	11			

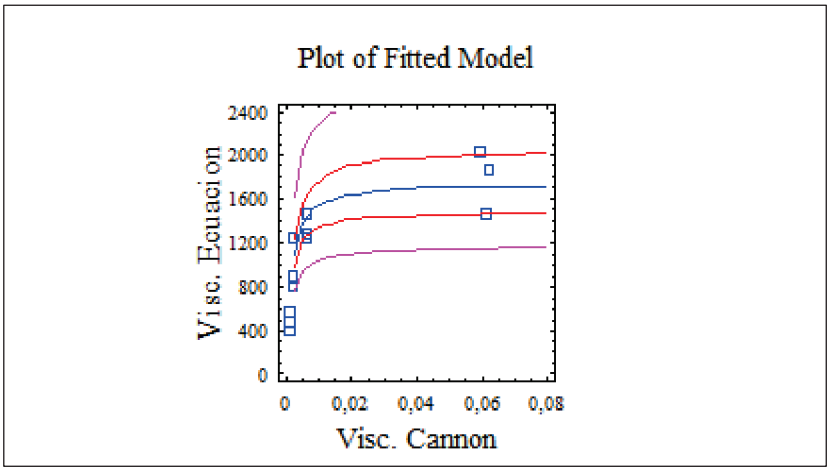

Figura AXXXII.1. Relación significativa entre los valores de Visc. Ecuación y Visc. Cannon, valores que se ajustaron al modelo curva-s

ANEXO XXXIII
CORRELACIÓN DE LAS MEDICIONES INSTRUMENTALES DE VISCOSIDAD (ÁREA BAJO LA CURVA) VERSUS CONSISTENCIA EN MIEL DE PANELA EN FORMA DE TABLA Y GRÁFICO

Tabla AXXXIII.1. Valores de los coeficientes del modelo matemático curva-s

Parámetros	Mínimos cuadrados Estimados	Estándar Error	Estadístico T	Valor - P
Intercepto (a)	1,4213E+01	2,5016E-01	56,8158	0,0000
Pendiente (b)	-8,4256E-01	5,3127E-02	-15,8593	0,0000

Tabla AXXXIII.2. Análisis de varianza del modelo matemático curva-s

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón – F	Valor – P
Fuente	1,7607	1	1,7607	251,5200	0,0000
Modelo	0,0700	10	0,0070		
Residuo	1,8307	11			

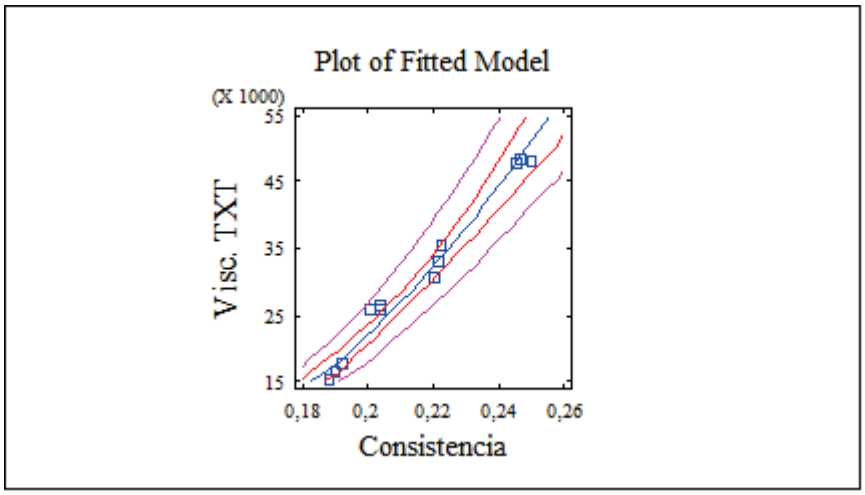

Figura AXXXIII.1. Relación significativa entre los valores de Visc. TXT y Consistencia, valores que se ajustaron al modelo curva-s

ANEXO XXXIV
CORRELACIÓN DE LAS MEDICIONES INSTRUMENTALES DE VISCOSIDAD CALCULADA POR DIFERENCIA DE ESFUERZO INSTRUMENTAL VERSUS CONSISTENCIA EN MIEL DE PANELA EN FORMA DE TABLA Y GRÁFICO

Tabla AXXXIV.1. Valores de los coeficientes del modelo curva-s

Parámetros	Mínimos cuadrados Estimados	Estándar Error	Estadístico T	Valor - P
Intercepto (a)	11,7529	0,6579	17,8635	0,0000
Pendiente (b)	-1,0301	0,1397	-7,3722	0,0000

Tabla AXXXIV.2. Análisis de varianza del modelo curva-s

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón – F	Valor – P
Fuente	2,6318	1	2,6318	54,3500	0,0000
Modelo	0,4842	10	0,0484		
Residuo	3,1161	11			

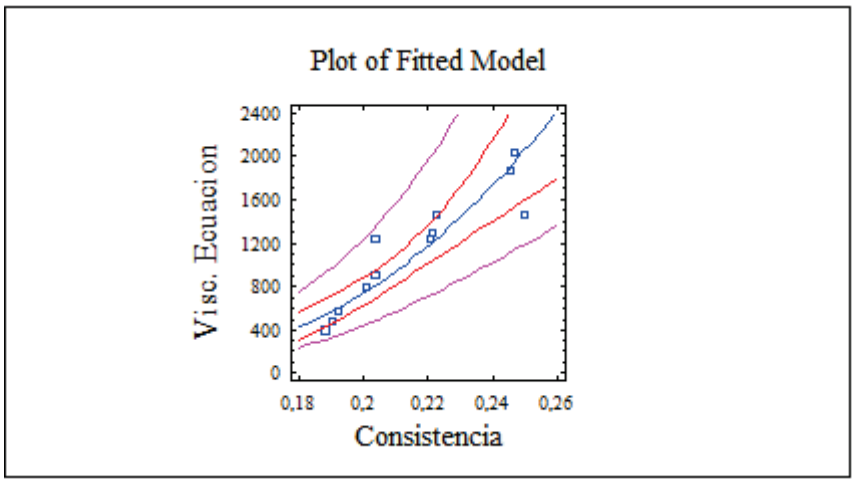

Figura AXXXIV.1. Relación significativa entre los valores de Visc. Ecuación y Consistencia, valores que se ajustaron al modelo curva-s

ANEXO XXXV

CORRELACIÓN DE LAS MEDICIONES INSTRUMENTALES DE VISCOSIDAD (ÁREA BAJO LA CURVA) VERSUS VISCOSIDAD ABSOLUTA EN JARABE DE AZÚCAR MORENA EN FORMA DE TABLA Y GRÁFICO

Tabla AXXXV.1. Valores de los coeficientes del modelo doble inverso

Parámetros	Mínimos cuadrados Estimados	Estándar Error	Estadístico T	Valor - P
Intercepto (a)	2,2771E-05	0,0000E+00		
Pendiente (b)	4,1656E-08	0,0000E+00		

Tabla AXXXV.2. Análisis de varianza del modelo doble inverso

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón – F	Valor – P
Fuente	2,9742E-09	1	2,9742E-09	0,0000	0,0000
Modelo	0,0000E+00	10	0,0000E+00		
Residuo	3,0342E-09	11			

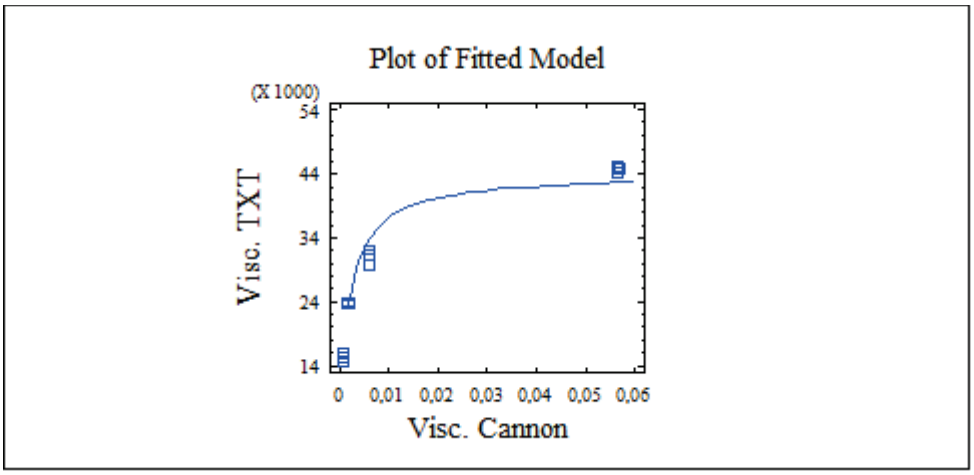

Figura AXXXV.1. Relación significativa entre los valores de Visc. TXT y Visc. Cannon, valores que se ajustaron al modelo curva-s

ANEXO XXXVI

CORRELACIÓN DE LAS MEDICIONES INSTRUMENTALES DE VISCOSIDAD CALCULADA POR DIFERENCIA DE ESFUERZO INSTRUMENTAL VERSUS VISCOSIDAD ABSOLUTA EN JARABE DE AZÚCAR MORENA EN FORMA DE TABLA Y GRÁFICO

Tabla AXXXVI.1. Valores de los coeficientes del modelo curva-s

Parámetros	Mínimos cuadrados Estimados	Estándar Error	Estadístico T	Valor - P
Intercepto (a)	7,4243E+00	6,0600E-02	122,5140	0,0000
Pendiente (b)	-1,2033E-03	1,0653E-04	-11,2952	0,0000

Tabla AXXXVI.2. Análisis de varianza del modelo curva-s

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón – F	Valor – P
Fuente	2,4816	1	2,4816	127,5800	0,0000
Modelo	0,1945	10	0,0195		
Residuo	2,6761	11			

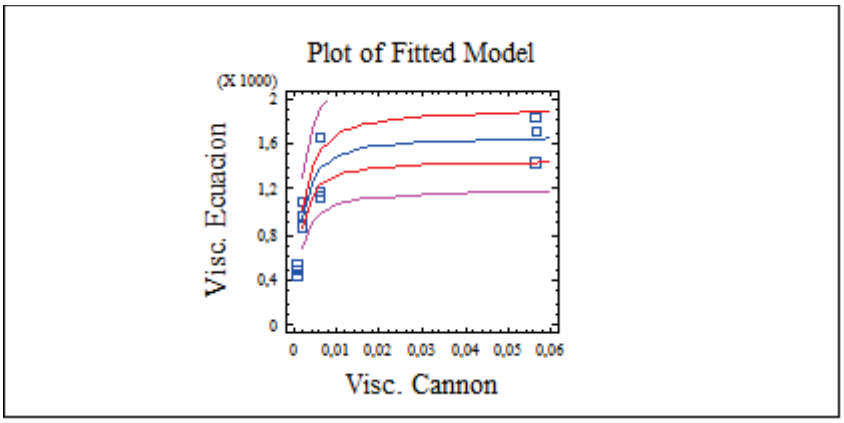

Figura AXXXVI.1. Relación significativa entre los valores de Visc. Ecuación y Visc. Cannon, valores que se ajustaron al modelo curva-s

ANEXO XXXVII

CORRELACIÓN DE LAS MEDICIONES INSTRUMENTALES DE VISCOSIDAD (ÁREA BAJO LA CURVA) VERSUS CONSISTENCIA EN JARABE DE AZÚCAR MORENA EN FORMA DE TABLA Y GRÁFICO

Tabla AXXXVII.1. Valores de los coeficientes del modelo matemático curva-s

Parámetros	Mínimos cuadrados Estimados	Estándar Error	Estadístico T	Valor - P
Intercepto (a)	11,4576	0,5356	21,3904	0,0000
Pendiente (b)	-0,9657	0,1133	-8,5251	0,0000

Tabla AXXXVII.2. Análisis de varianza del modelo matemático curva-s

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón – F	Valor – P
Fuente	2,3524	1	2,3524	72,6800	0,0000
Modelo	0,3237	10	0,0324		
Residuo	2,6761	11			

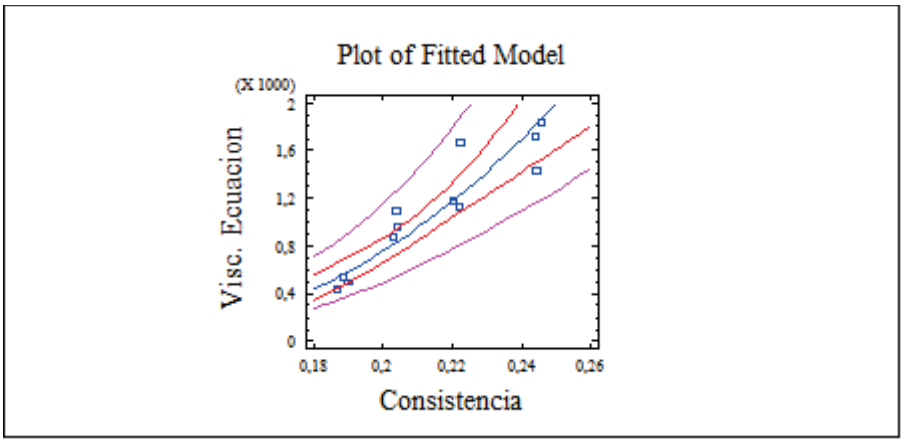

Figura AXXXVII.1. Relación significativa entre los valores de Visc. TXT y Consistencia, valores que se ajustaron al modelo curva-s

ANEXO XXXVIII
CORRELACIÓN DE LAS MEDICIONES INSTRUMENTALES DE VISCOSIDAD CALCULADA POR DIFERENCIA DE ESFUERZO INSTRUMENTAL VERSUS CONSISTENCIA EN JARABE DE AZÚCAR MORENA EN FORMA DE TABLA Y GRÁFICO

Tabla AXXXVIII.1. Valores de los coeficientes del modelo curva-s

Parámetros	Mínimos cuadrados Estimados	Estándar Error	Estadístico T	Valor - P
Intercepto (a)	11,4576	0,5356	21,3904	0,0000
Pendiente (b)	-0,9657	0,1133	-8,5251	0,0000

Tabla AXXXVIII.2. Análisis de varianza del modelo curva-s

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón – F	Valor – P
Fuente	2,3524	1	2,3524	72,6800	0,0000
Modelo	0,3237	10	0,0324		
Residuo	2,6761	11			

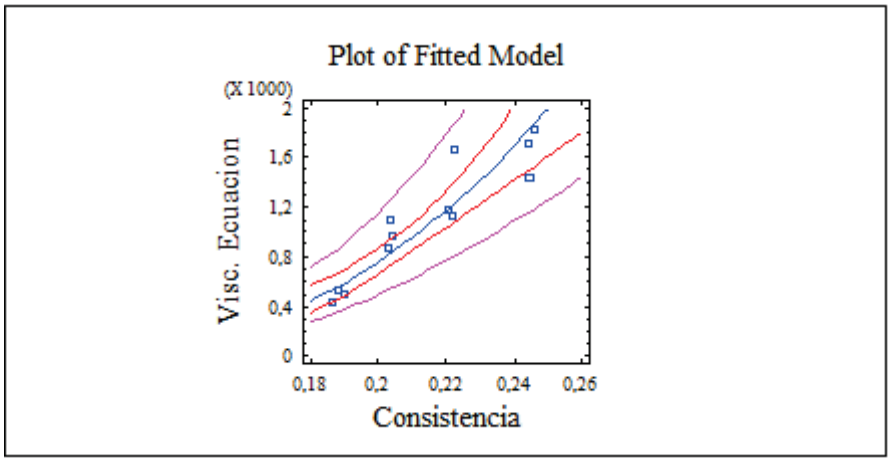

Figura AXXXVIII.1. Relación significativa entre los valores de Visc. Ecuación y Consistencia, valores que se ajustaron al modelo curva-s

ANEXO XXXIX

CORRELACIÓN DE LAS MEDICIONES INSTRUMENTALES DE VISCOSIDAD (ÁREA BAJO LA CURVA) VERSUS VISCOSIDAD ABSOLUTA EN FORMA DE TABLA Y GRÁFICO

Tabla AXXXIX.1. Valores de los coeficientes del modelo multiplicativo

Parámetros	Mínimos cuadrados Estimados	Estándar Error	Estadístico T	Valor - P
Intercepto (a)	11,3276	0,0556	203,9020	0,0000
Pendiente (b)	0,2187	0,0100	21,7740	0,0000

Tabla AXXXIX.2. Análisis de varianza del modelo multiplicativo

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón – F	Valor – P
Fuente	1,2618E+00	1	1,2618E+00	474,1100	0,0000
Modelo	2,6614E-02	10	2,6614E-03		
Residuo	1,2884E+00	11			

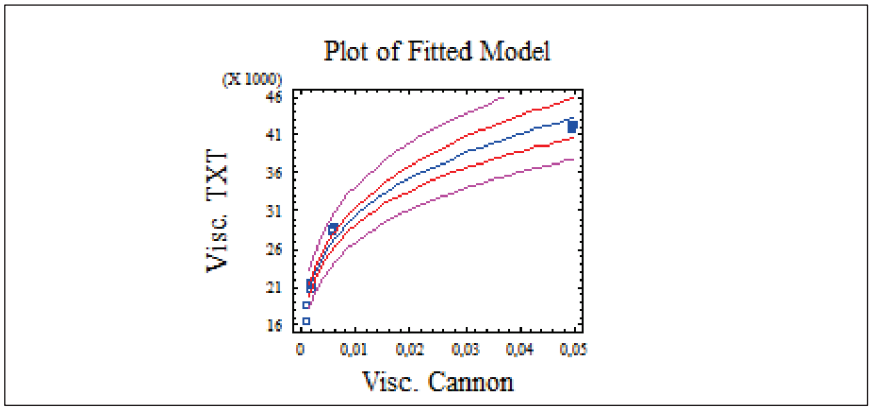

Figura AXXXIX.1. Relación significativa entre los valores de Visc. TXT y Visc. Cannon, valores que se ajustaron al modelo multiplicativo

ANEXO XL

CORRELACIÓN DE LAS MEDICIONES INSTRUMENTALES DE VISCOSIDAD CALCULADA POR DIFERENCIA DE ESFUERZO INSTRUMENTAL VERSUS VISCOSIDAD ABSOLUTA EN JARABE DE AZÚCAR BLANCA EN FORMA DE TABLA Y GRÁFICO

Tabla AXL.1. Valores de los coeficientes del modelo curva-s

Parámetros	Mínimos cuadrados Estimados	Estándar Error	Estadístico T	Valor - P
Intercepto (a)	7,3759E-04	1,0000E+04	12,1678	0,0000
Pendiente (b)	1,0623E-06	1,0617E-07	10,0060	0,0000

Tabla AXL.2. Análisis de varianza del modelo curva-s

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón – F	Valor – P
Fuente	1,9229E-06	1	1,9229E-06	100,1200	0,0000
Modelo	1,9206E-07	10	1,9206E-08		
Residuo	2,1150E-06	11			

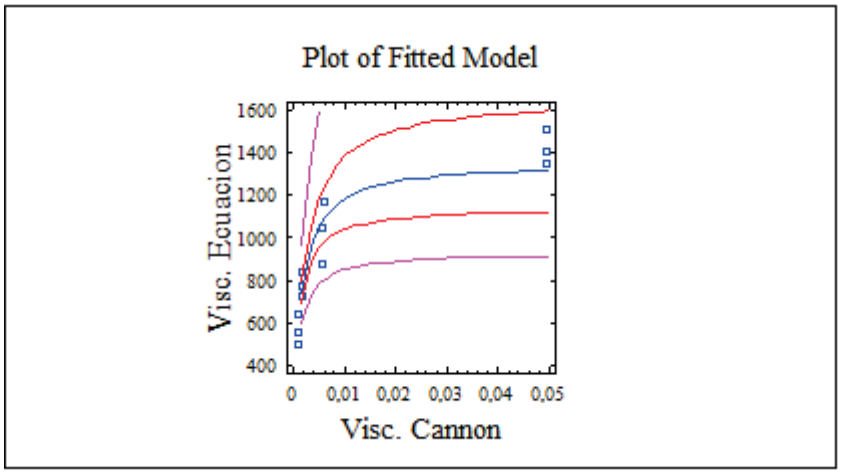

Figura AXL.1. Relación significativa entre los valores de Visc. Ecuación y Visc. Cannon, valores que se ajustaron al modelo curva-s

ANEXO XLI

CORRELACIÓN DE LAS MEDICIONES INSTRUMENTALES DE VISCOSIDAD (ÁREA BAJO LA CURVA) VERSUS CONSISTENCIA EN JARABE DE AZÚCAR BLANCA EN FORMA DE TABLA Y GRÁFICO

Tabla AXLI.1. Valores de los coeficientes del modelo matemático exponencial

Parámetros	Mínimos cuadrados Estimados	Estándar Error	Estadístico T	Valor - P
Intercepto (a)	6,7984	0,1932	35,1894	0,0000
Pendiente (b)	15,6167	0,8928	17,4914	0,0000

Tabla AXLI.2. Análisis de varianza del modelo matemático exponencial

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón – F	Valor – P
Fuente	1,2476	1	1,2476	305,9500	0,0000
Modelo	0,0408	10	0,0041		
Residuo	1,2884	11			

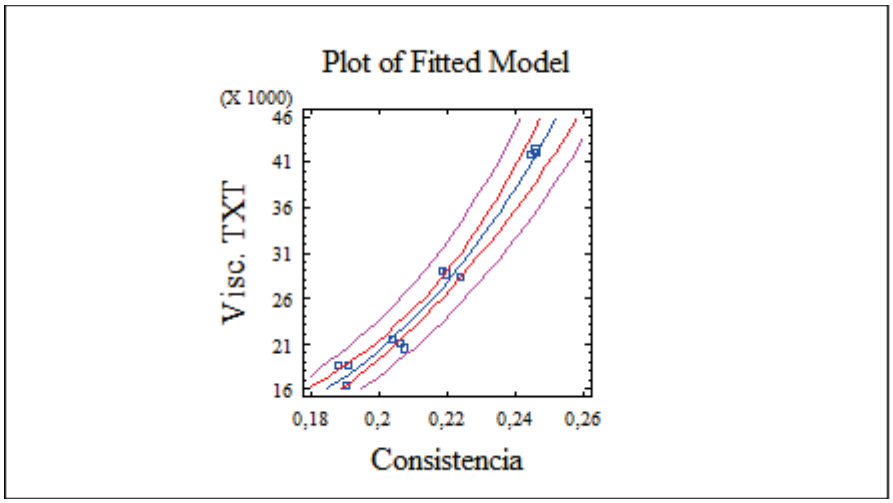

Figura AXLI.1. Relación significativa entre los valores de Visc. TXT y Consistencia, valores que se ajustaron al modelo exponencial

ANEXO XLII
CORRELACIÓN DE LAS MEDICIONES INSTRUMENTALES DE VISCOSIDAD CALCULADA POR DIFERENCIA DE ESFUERZO INSTRUMENTAL VERSUS CONSISTENCIA EN JARABE DE AZÚCAR BLANCA FORMA DE TABLA Y GRÁFICO

Tabla AXLII.1. Valores de los coeficientes del modelo curva-s

Parámetros	Mínimos cuadrados Estimados	Estándar Error	Estadístico T	Valor - P
Intercepto (a)	10,3980	0,3143	33,0857	0,0000
Pendiente (b)	-0,7695	0,0668	-11,5222	0,0000

Tabla AXLII.2. Análisis de varianza del modelo curva-s

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón – F	Valor – P
Fuente	1,3894	1	1,3894	132,7600	0,0000
Modelo	0,1047	10	0,0105		
Residuo	1,4940	11			

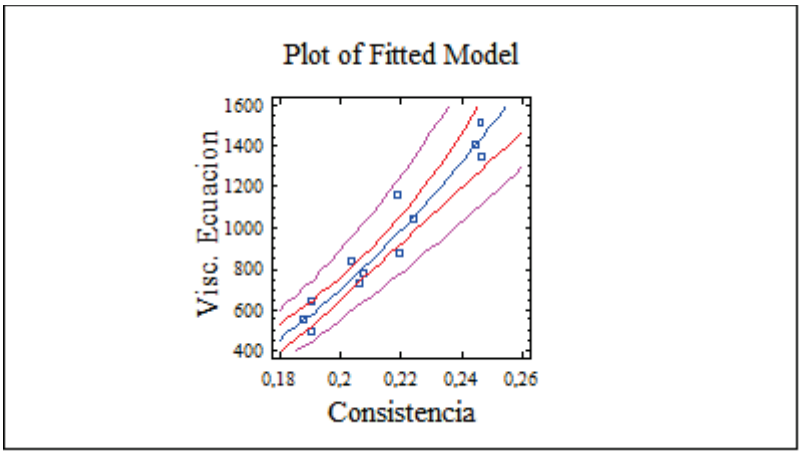

Figura AXLII.1. Relación significativa entre los valores de Visc. Ecuación y Consistencia, valores que se ajustaron al modelo curva-s

ANEXO XLIII

CORRELACIÓN DE LAS MEDICIONES INSTRUMENTALES DE VISCOSIDAD (ÁREA BAJO LA CURVA) VERSUS VISCOSIDAD ABSOLUTA A 20 °BRIX EN FORMA DE TABLA Y GRÁFICO

Tabla AXLIII.1. Valores de los coeficientes del modelo curva-s

Parámetros	Mínimos cuadrados Estimados	Estándar Error	Estadístico T	Valor - P
Intercepto (a)	17,7335	0,8491	20,8850	0,0000
Pendiente (b)	-0,0147	0,0017	-9,0315	0,0000

Tabla AXLIII.2. Análisis de varianza del modelo curva-s

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón – F	Valor – P
Fuente	6,5353E-02	1	6,5353E-02	81,5700	0,0000
Modelo	5,6084E-03	7	8,0120E-04		
Residuo	7,0961E-02	8			

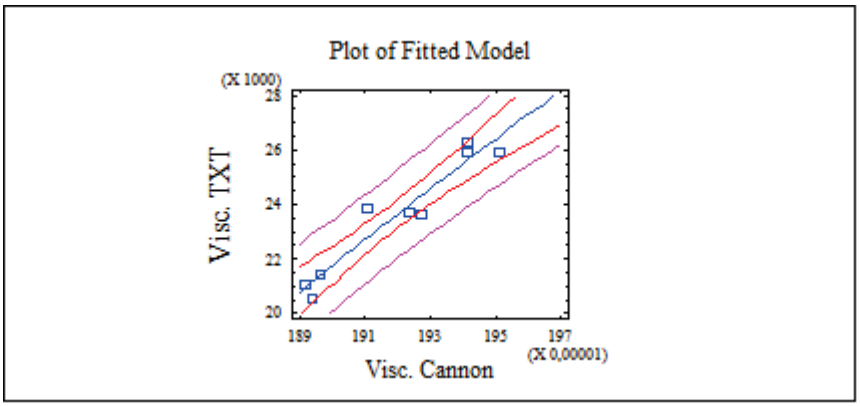

Figura AXLIII.1. Relación significativa entre los valores de Visc. TXT y Visc. Cannon, valores que se ajustaron al modelo curva-s

ANEXO XLIV

CORRELACIÓN DE LAS MEDICIONES INSTRUMENTALES DE VISCOSIDAD (ÁREA BAJO LA CURVA) VERSUS VISCOSIDAD ABSOLUTA A 40 °BRIX EN FORMA DE TABLA Y GRÁFICO

Tabla AXLIV.1. Valores de los coeficientes del modelo exponencial

Parámetros	Mínimos cuadrados Estimados	Estándar Error	Estadístico T	Valor - P
Intercepto (a)	7,7715	0,7156	10,8607	0,0000
Pendiente (b)	422,7230	117,9570	3,5837	0,0089

Tabla AXLIV.2. Análisis de varianza del modelo exponencial

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón – F	Valor – P
Fuente	2,8559E-02	1	2,8559E-02	12,8400	0,0089
Modelo	1,5566E-02	7	2,2237E-03		
Residuo	4,4125E-02	8			

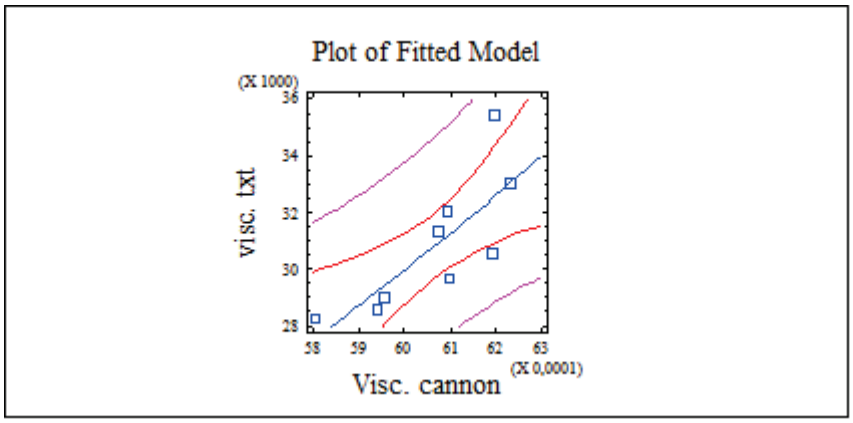

Figura AXLIV.1. Relación significativa entre los valores de Visc. TXT y Visc. Cannon, valores que se ajustaron al modelo exponencial

ANEXO XLV

CORRELACIÓN DE LAS MEDICIONES INSTRUMENTALES DE VISCOSIDAD (ÁREA BAJO LA CURVA) VERSUS VISCOSIDAD ABSOLUTA A 60 °BRIX EN FORMA DE TABLA Y GRÁFICO

Tabla AXLV.1. Valores de los coeficientes del modelo exponencial

Parámetros	Mínimos cuadrados Estimados	Estándar Error	Estadístico T	Valor - P
Intercepto (a)	10,0922	0,0686	147,1850	0,0000
Pendiente (b)	11,1252	1,2302	9,0438	0,0000

Tabla AXLV.2. Análisis de varianza del modelo exponencial

Fuente	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	Razón – F	Valor – P
Fuente	2,5344E-02	1	2,5344E-02	81,7900	0,0000
Modelo	2,1691E-03	7	3,0987E-04		
Residuo	2,7513E-02	8			

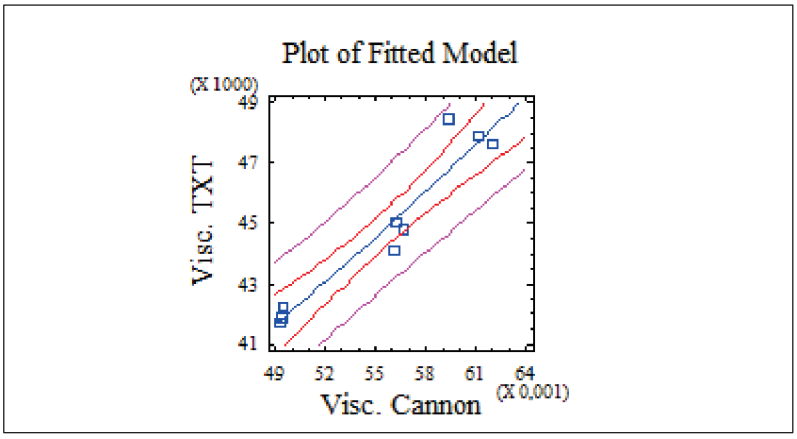

Figura AXLV.1. Relación significativa entre los valores de Visc. TXT y Vic. Cannon, valores que se ajustaron al modelo exponencial